

**Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava**

**Fakulta bezpečnostního inženýrství**

**Katedra bezpečnostního managementu**

**Stanovení vlivu inertních příměsí na teplotní meze  
výbušnosti**

**Student: Bc. Jakub Ivan**

**Vedoucí diplomové práce: Ing. Jiří Serafín**

**Studijní obor: Bezpečnostní inženýrství**

**Datum zadání diplomové práce: 30. 11. 2009**

**Termín odevzdání diplomové práce: 30. 4. 2010**

Anotace:

Ivan, J. Stanovení vlivu inertních příměsí na teplotní meze výbušnosti. Diplomová práce. Vysoká škola báňská – Technická universita Ostrava, 2010, 70 s.

Klíčová slova: Teplotní meze výbušnosti, hořlavá kapalina, inertizace, inertní plyn.

Diplomová práce se zabývá zjišťováním vlivu inertních příměsí na teplotní meze výbušnosti u vybraných hořlavých kapalin. Teoretická část je zaměřena na poznatky o výbuchu, teplotních mezích výbušnosti a zejména procesu inertizace. Praktická část popisuje měření, výsledné hodnoty stanovených teplotních mezí výbušnosti hořlavé kapaliny a vliv inertních příměsí.

Annotation:

Ivan, J. Determination of Influence of Inert Admixtures on Explosion Temperature Limits. Master thesis, VSB - Technical University of Ostrava, 2010, 70 p.

Key words: Explosion Temperature Limits, flammable liquid, inerting, inert gas.

This thesis deals with identifying the effect of inert admixtures on the explosion temperature limits for selected flammable liquids. The theoretical part focuses on the knowledge explosion, explosion temperature limits, and in particular the process of inerting. The practical part describes the measurement and the resulting value set for the explosion temperature limits of flammable liquids and the influence of inert admixtures.

Čestné prohlášení:

„Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu“.

V Ostravě .....

.....

Bc. Jakub Ivan

**Poděkování:**

Děkuji Ing. Jiřímu Serafínovi a Ing. Aleši Bebčákovi za pomoc, odborné vedení při práci a poskytnuté cenné informace.

# Obsah

<b>Základní pojmy .....</b>	<b>1</b>
<b>1 Úvod.....</b>	<b>4</b>
<b>2 Teoretická část.....</b>	<b>5</b>
2.1 Základní poznatky o výbuchu .....	5
2.1.1 Druhy výbušných přeměn .....	6
2.1.2 Oxidační prostředek .....	7
2.1.3 Inicie .....	7
2.1.4 Výbuchová křivka .....	8
2.1.5 Vliv koncentrace na maximální výbuchové parametry .....	10
2.2 Koncentrační hranice (meze) výbušnosti .....	11
2.2.1 Dolní koncentrační hranice výbušnosti .....	11
2.2.2 Horní koncentrační hranice výbušnosti .....	12
2.2.3 Stanovení koncentračních hranic (mezí) výbušnosti.....	12
2.3 Ovlivnění mezí výbušností plynů a par hořlavých kapalin .....	14
2.3.1 Velikost iniciační energie $E_i$ .....	14
2.3.2 Počáteční tlak v okamžiku iniciace .....	15
2.3.3 Vlhkost .....	15
2.3.4 Počáteční teplota .....	15
2.3.5 Obsah kyslíku .....	17
2.3.6 Vytváření hybridních směsí .....	17
2.4 Teplotní hranice (meze) výbušnosti .....	17
2.4.1 Dolní teplotní hranice (meze) výbušnosti .....	18
2.4.2 Horní teplotní hranice (meze) výbušnosti .....	18
2.5 Hořlavé kapaliny .....	19
2.5.1 Fyzikálně chemické vlastnosti.....	19
2.5.2 Technicko bezpečnostní parametry .....	22
2.6 Vytváření výbušných směsí u plynů a par hořlavých kapalin.....	25
2.6.1 Nebezpečné koncentrace .....	27
2.7 Vypařování kapalin .....	28
2.7.1 Molekulární difúze .....	30
2.7.2 Vypařování kapalin do nepohyblivého prostředí .....	31
2.7.3 Vypařování kapalin do pohyblivého prostředí .....	34

2.8	Inertizace .....	35
2.8.1	Inertizace přidáním inertních plynů .....	35
2.8.2	Ovlivnění LOC .....	37
2.8.3	Úplná inertizace.....	38
2.8.4	Požadavky na realizaci inertizace .....	38
2.8.5	Metody inertizace .....	39
2.8.6	Příklady použití inertizace v praxi .....	39
<b>3</b>	<b>Stanovení vlivu inertních příměsí na teplotní meze výbušnosti.....</b>	<b>41</b>
3.1	Popis přístroje VK-20.....	41
3.2	Regulační zařízení .....	44
3.3	Měřicí čidla .....	45
3.4	Zdroj iniciace elektrickou jiskrou (Ignition system HV-2009).....	47
3.5	Program GSOF 3050 .....	47
3.6	Metodika měření .....	48
3.6.1	Popis stanovení teplotních mezí výbušnosti na VK-20.....	48
3.6.2	Popis měření vlivu dusíku na teplotní meze výbušnosti .....	49
<b>4</b>	<b>Naměřené hodnoty a jejich zpracování.....</b>	<b>51</b>
4.1	Motorová nafta s příměsí 5 % MEŘO.....	51
4.1.1	Dolní teplotní mez výbušnosti motorové nafty s příměsí 5% MEŘO.....	51
4.1.2	Horní teplotní mez výbušnosti motorové nafty s příměsí 5% MEŘO .....	53
4.1.3	Inertizace teplotních mezí výbušnosti motorové nafty s příměsí 5% MEŘO ..	55
<b>5</b>	<b>Nejistota měření.....</b>	<b>57</b>
5.1	Výpočty nejistoty měření .....	58
<b>6</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>61</b>
<b>7</b>	<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>62</b>
	Seznam zkratk .....	65
	Seznam grafů .....	66
	Seznam obrázků .....	67
	Seznam rovnic .....	68
	Seznam tabulek .....	69
	Seznam příloh.....	70

## **Základní pojmy**

podle [1]:

- Výbuch: náhlá oxidace nebo rozkladná reakce vyznačující se vzrůstem teploty, tlaku nebo vzrůstem obou těchto veličin současně.
- Deflagrace: výbuch šířící se podzvukovou rychlostí.
- Detonace: výbuch šířící se nadzvukovou rychlostí a vyznačující se rázovou vlnou.
- Rozsah výbušnosti: rozsah koncentrace hořlavé látky ve vzduchu, při kterém může nastat výbuch.
- Meze výbušnosti: meze rozsahu výbušnosti.
- Dolní mez výbušnosti LEL (lower explosion limit): dolní mez rozsahu výbušnosti.
- Horní mez výbušnosti UEL (upper explosion limit): horní mez rozsahu výbušnosti.
- Body výbušnosti (explosion points): dolní a horní bod výbušnosti vymezují rozsah výbušnosti.
- Dolní bod výbušnosti LEP (lower explosion point): teplota hořlavé kapaliny, při které je koncentrace nasycených par ve vzduchu rovna dolní mezi výbušnosti.
- Horní bod výbušnosti UEP (upper explosion point): teplota hořlavé kapaliny, při které je koncentrace nasycených par ve vzduchu rovna horní mezi výbušnosti.
- Výbušná atmosféra (explosive atmosphere): směs vzduchu a hořlavých látek ve formě plynů, par, mlh nebo prachů při atmosférických podmínkách, ve které se po vzniku iniciace rozšíří hoření do celé nespálené směsi.
- Nebezpečná výbušná atmosféra (hazardous explosive atmosphere): výbušná atmosféra, která, dojde-li k výbuchu, je příčinou škody.
- Hořlavá látka: látka ve formě plynu, páry, kapaliny, pevné látky nebo jejich směsi, která, pokud dojde k iniciaci, může vyvolat exotermickou reakci s oxidačním prostředkem.
- Inertizace (inerting): přidávání inertní látky tak, aby bylo zabráněno vzniku výbušných atmosfér.

- Mezní koncentrace kyslíku LOC (limiting oxygen concentration): nejvyšší koncentrace kyslíku ve směsi hořlavé látky, vzduchu a inertního plynu, při které může dojít, za určitých stanovených podmínek zkoušky, k výbuchu.
- Minimální iniciační energie MIE (minimum ignition energy): nejnižší nahromaděná elektrická energie v kondenzátoru, která je při vybití právě schopna vyvolat iniciaci nejsnadněji zápalné atmosféry při stanovených zkušebních podmínkách.
- Výbuchové parametry: ukazatele výbušnosti stanovené standardizovanými zkušebními postupy.
- Výbuchový tlak  $p_{výb}$ : tlak vznikající v uzavřené nádobě při výbuchu výbušné atmosféry o dané koncentraci.
- Rychlost narůstání výbuchového tlaku  $(dp/dt)_{výb}$ : směrnice tečny v inflexním bodě výbuchové křivky (závislost tlaku na čase při dané koncentraci v uzavřené nádobě).
- Maximální výbuchové parametry: maximální výbuchový tlak  $p_{max}$ , maximální rychlost narůstání výbuchového tlaku  $(dp/dt)_{max}$  a kubická konstanta  $K_g$  resp.  $K_{st}$  jsou měřítkem energie resp. výkonu dané výbušné směsi.
- Kubická nádoba: nádoba která má poměr délky k průměru menší než 1 : 2.

podle [2,3]:

- Bod vzplanutí: je nejnižší teplota při níž se za standardních zkušebních podmínek vyvíjí tolik par, že tvoří se vzduchem nad hladinou kapaliny směs zapalitelnou otevřeným plamenem.
- Teplota vznícení plyno- nebo paro-vzduchové směsi: je nejnižší teplota, při níž se směs vznítí za zkušebních podmínek. Stoupne-li teplota plyno- nebo parovzduchové směsi nad teplotu vznícení, není zde nutný zápalný zdroj.
- Teplotní hranice výbušnosti: vyjadřují nebezpečí hořlavých kapalin v uzavřených technologických zařízeních. Rozlišujeme na Dolní teplotní hranici výbušnosti a Horní teplotní hranici výbušnosti.
- Dolní teplotní hranice výbušnosti: nejnižší teplota, při které se v uzavřeném prostoru zahříváním zkoušené kapaliny, za předpokládaných podmínek, vytvoří takové množství par, že se ve směsi se vzduchem po iniciaci může šířit plamen.



- Horní teplotní hranice výbušnosti: nejvyšší teplota, při které se v uzavřeném prostoru zahříváním zkoušené kapaliny, za předpokládaných podmínek, vytvoří takové množství par, že jejich směs se vzduchem může být iniciována. Při zvýšené teplotě nad tuto mez, vytvoří se směs, která není schopná iniciace.

# 1 Úvod

Díky rozmanitému členění dnešního průmyslu se dnes vyrábí a používá také ohromné množství látek. Při jejich výrobě nebo užívání se mohou tvořit směsi plynů, par a prachů, které mohou být za určitých podmínek výbušné. Tyto směsi jsou pak nebezpečné jak pro majetek, tak zejména pro zdraví a životy osob.

Procesy výbuchu se jako takové řídí zákony fyziky i chemie, a proto se budu nejprve v teoretické části diplomové práce snažit popsat poznatky a zákonitosti, které jsou pro pochopení této problematiky nezbytné, a které nám lépe umožní hodnotit konkrétní podmínky pro výbuch a následně přijímat vhodná opatření.

Jedním opatřením je právě inertizace, která spadá do skupiny primární protivýbuchové ochrany. Pomocí inertizace respektive příměsí celé řady inertních látek docílíme směsi, která není výbušná z původně nebezpečné směsi. K tomuto procesu však potřebujeme kromě poznatků o samotné inertizaci znát i vlastnosti hořlavých látek. U hořlavých kapalin je z hlediska výbuchu velmi důležitá zejména dolní a horní teplotní mez výbušnosti.

Základním cílem, této diplomové práce, na který bych se chtěl zaměřit, je tedy stanovení teplotních mezí výbušnosti vybrané hořlavé kapaliny. Následně zjistit a prozkoumat ovlivňování těchto teplotních mezí výbušnosti vybranými inertními plyny. Práce by měla nastínit hodnoty koncentrací inertního plynu a kyslíku, při kterých už, směsi plynů a par vybrané hořlavé kapaliny se vzduchem, nejsou nebezpečné.

Postupem stanovování teplotních mezí výbušnosti, a vlivu inertních příměsí na tyto meze se věnuje praktická část mé práce. Je zde popsána metodika použitá při měření a zařízení VK-20 na kterém jsem tato měření prováděl. Jsou zde prezentovány také výsledky z těchto měření ve formě výpočtů, tabulek a grafů.

## 2 Teoretická část

V Teoretické části této diplomové práce se budu snažit nejprve rozebrat a popsat důležité aspekty, vztahy a veličiny výbuchu. Výbuch jako takový je ovlivňován různými vlivy, jako je tvar a charakter okolního prostředí, ve kterém, při splnění určitých podmínek, může dojít k výbuchu. Výbuch je dále nemalou měrou ovlivňován také samotnou hořlavou látkou, proto se také zaměřím na vlastnosti a charakteristiky hořlavých látek. Pro nás důležité technicko bezpečnostní parametry. Poslední oblast teoretické části je věnována poznatkům, týkajících se procesu inertizace, které jsou důležité pro mou diplomovou práci.

### 2.1 Základní poznatky o výbuchu

Výbuch je definován jako velmi rychle probíhající hoření pevných, kapalných, plyných, mlhovitých nebo prachových látek. Při těchto reakcích se za velmi krátký časový úsek uvolňuje značné množství tepla. Působení tohoto uvolněného tepla na hmotu plynů, které se účastní reakce, má za následek velké zvětšení objemu. Rychlost zvětšování objemu neboli rozpínání hmoty plynu závisí na rychlosti šíření plamene ve výbušné směsi [4].

V důsledku rozpínání hmoty plynu stoupá rychle v prostoru tlak, čímž může dojít k silným destrukcím, které jsou nebezpečné jak pro zdraví a životy osob, tak pro výrobní procesy a zařízení [4].

Výbuchu potřebuje ke svému vzniku a průběhu splnění určitých podmínek. Aby mohlo dojít k výbuchu musí být k dispozici prostor ve kterém se může vytvořit výbušná koncentrace. Dále v tomto prostoru musí být přítomno dostatečné množství rozptýlené hořlavé látky (hořlavý plyn, pára nebo mlha hořlavé kapaliny, zvířený hořlavý prach případně hybridní směs těchto látek) ve směsi s oxidačním prostředkem za přítomnosti dostatečně silného iniciačního zdroje který směs iniciuje [1, 4].

K výbuchu může dojít jen v případě jsou-li koncentrace výbušné směsi a oxidačního prostředku mezi rozsahem výbušnosti dané směsi. Rozsah výbušnosti nám udávají dolní a horní meze výbušnosti, na které se zaměřím v kapitole 2.2 této diplomové práce[4].

### 2.1.1 Druhy výbušných přeměn

Výbuchy mají odlišný charakter. Rozlišujeme různé mechanismy šíření výbuchu. V prvním případě plamen postupuje v dosud nezreagovaném prostředí pomalými transportními jevy (vedení tepla, difúze). V druhém případě dochází k výraznému ovlivnění kinetiky reakce díky termodynamickým a hydrodynamickým vlivům, které nabývají převahy nad vlastní kinetikou chemické reakce. Tento jev nazýváme detonací [4].

Základními ukazateli podle kterých rozlišujeme výbušné přeměny jsou reakční rychlost (lineární rychlosti výbušné přeměny) a tlakové změny [4, 5].

Výbušné přeměny tedy dělíme (podle [1, 5]) na:

- Explosivní hoření (deflagrace): Toto hoření je charakterizováno nízkou lineární rychlostí řádu ( $10^{-1}$ - $10^1$ ) [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]. Vzniklé tlaky dosahují hodnoty  $\approx 0,01\text{Mpa}$ . V tomto případě mají plynné produkty dostatek času k úniku což vede k probíhání procesu za stálého tlaku v reakčním pásmu.
- Vlastní výbuch (výbuch druhého řádu): Je to přechod mezi explosivním hořením a detonací. Lineární rychlost roste s tlakem, rychlost výbuchu je řádově  $10^5$  [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]. V případě, kdy zplodiny nestačí unikát může dojít i k detonaci.
- Detonace: Je extrémně rozvinutá exploze. K iniciaci nedochází jako u výbuchu transportem tepla a hmoty mezi částicemi hmoty, ale již dříve kompresním teplem, které vzniká na čele detonační vlny. Rychlosti šíření mohou dosahovat až  $4\,000\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Během detonace je díky narůstání tlaku v reakční zóně dosaženo maximální rychlosti šíření výbušné přeměny. V místě detonace vzniká velkou rychlostí množství zplodin a tlakový skok neboli detonační vlna (řádu až  $1\text{--}101$  [MPa]). Reakční zplodiny se pohybují směrem od detonace a ta je provázena tlakovými, tepelnými, zvukovými a světelnými efekty.

Výbuchové procesy většinou probíhají jako rozvětvené řetězové reakce, přičemž působí dva reakční mechanismy.

1. Rozvětvená řetězová reakce při které dochází ke zvýšení počtu radikálů při každé elementární reakci [5].

2. Degenerativně rozvětvená řetězová reakce. Tato reakce má nerozvětvený hlavní řetězec. Vznikající molekulární produkty se však mohou snadno opět rozpadnout na radikály [5].

Výbuchové procesy můžeme dále rozdělit na tři skupiny oxidace (podle [5]):

- katalytická oxidace (teploty menší než 100 °C ),
- pomalá oxidace ( teploty mezi 200 a 600 °C),
- explozivní plamenné hoření.

### **2.1.2 Oxidační prostředek**

V průmyslu a běžných situacích je obvyklý oxidační prostředek vzdušný kyslík. Během reakce reagují radikály kyslíku (atomární kyslík). Tyto kyslíkové radikály jsou vytvářeny z molekulárního kyslíku dodáním energie (teplo, elektrická radiace) v průběhu reakce s jinými radikály. Velmi důležité pro proces výbuchu jsou koncentrace látek spolu s oxidačním prostředkem, které se reakce účastní. Veličiny jako je hořlavost, rychlost hoření, teplota požáru a další technicko bezpečnostní parametry silně závisí na koncentraci kyslíku. Při snižování koncentrace kyslíku tzn. pokles jeho obsahu pod limitní obsah již nemůže k výbuchu dojít [6].

### **2.1.3 Iniciace**

Aby mohl výbuch nastat je nezbytné dodat systému aktivační energii. Většina hořlavých látek s oxidačním prostředkem potřebuje pro iniciaci dodání energie z vnějšku, tedy cizí iniciaci. Tento způsob iniciace budu sám využívat v praktické části mé diplomové práce.

Zdrojem iniciace může být látka nebo předmět, který má určitou teplotu a je schopna dodat potřebné množství energie. Existují látky, které se v důsledku nestability chemického složení nebo jejich fyzikální stavby dokáží samoaktivovat. Proces se nazývá samovznícení. Dále existují látky u kterých při procesu iniciace spolupůsobí vnitřní i vnější příčiny. Zdroje tohoto druhu jsou elektrostatické děje, absorpční procesy atd. [4, 6].

Pro hodnocení iniciačních zdrojů používáme podle [6] následující parametry:

- teplota vznícení hořlavého plynu nebo par hořlavé kapaliny ( $T_{vzníc}$ ) v  $^{\circ}\text{C}$ ,
- indukční doba ( $t_i$ ) v  $[\text{ms}]$ ,
- minimální iniciační energie (MIE) v  $[\text{J}]$ .

$T_{\min}$  je minimální teplota, při které se hořlavý systém vznítí za specifických podmínek. Indukční doba nám udává dobu od zahájení působení iniciačního zdroje do okamžiku vznícení a minimální iniciační energie MIE je nejnižší energie iniciačního zdroje, který za specifických podmínek testu způsobí vznícení [6].

Energetický zdroj EZ o energii  $E_{ez}$  se může stát iniciačním zdrojem, jestliže je splněno [6]:

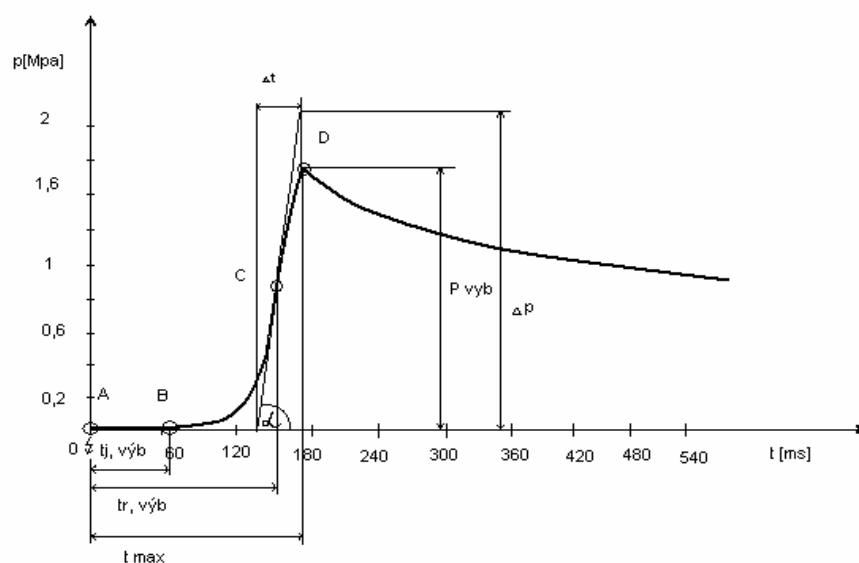
$$T_{ez} > t_{\text{MIN}} \text{ nebo } t_{EZ} > t_{vzníc},$$

$$t_{EZ} > t_i,$$

$$E_{EZ} > \text{MIE}.$$

#### 2.1.4 Výbuchová křivka

Znázorňuje časový průběh narůstání tlaku při výbuchu v závislosti na čase jak můžeme vidět na grafu 1.



Graf 1 Výbuchová křivka podle [7]

kde:

- $p$  ...výbuchový tlak [MPa],
- $t$  ...čas [ms],
- $t_{i.výb}$  ...indukční doba [ms],
- $t_{r.výb}$  ...doba od okamžiku iniciace do inflexního bodu [ms],
- $t_{max}$  ...doba do dosažení výbuchového tlaku [ms],
- $p_{výb}$  ...výbuchový tlak [MPa],
- $\Delta p$  ...nárůst tlaku [MPa],
- $\Delta t$  ...čas [ms].

Po iniciaci v bodě A uplyne doba  $t_{i. výb}$ , než se projeví narůstání tlaku (tzv. doba indukční periody). Je to přípravná doba výbušné směsi k hoření. Od bodu B dochází k narůstání tlaku. V důsledku zvyšování teploty se reakční rychlost zvyšuje až do bodu C, kde je rychlost narůstání výbuchového tlaku nejvyšší. Od bodu C do bodu D se rychlost narůstání výbuchového tlaku zmenšuje v důsledku ubývání reakčních složek, až v bodě D je nulová. Od bodu D tlak klesá vlivem snižování teploty spalin a kondenzace par [7].

V bodě D dosahuje křivka maxima. Tlakovou hodnotu v tomto bodě označuje výbuchový tlak značíme  $p_{výb}$ . C je inflexní bod přímky, kde je narůstání tlaku nejvyšší. Velikost nárůstu výbuchového tlaku vyjadřuje směrnice tečny v inflexním bodě C [7]:

$$tg \alpha' = \frac{\Delta p}{\Delta t} \equiv \left( \frac{dp}{dt} \right)_{výb} \quad (1)$$

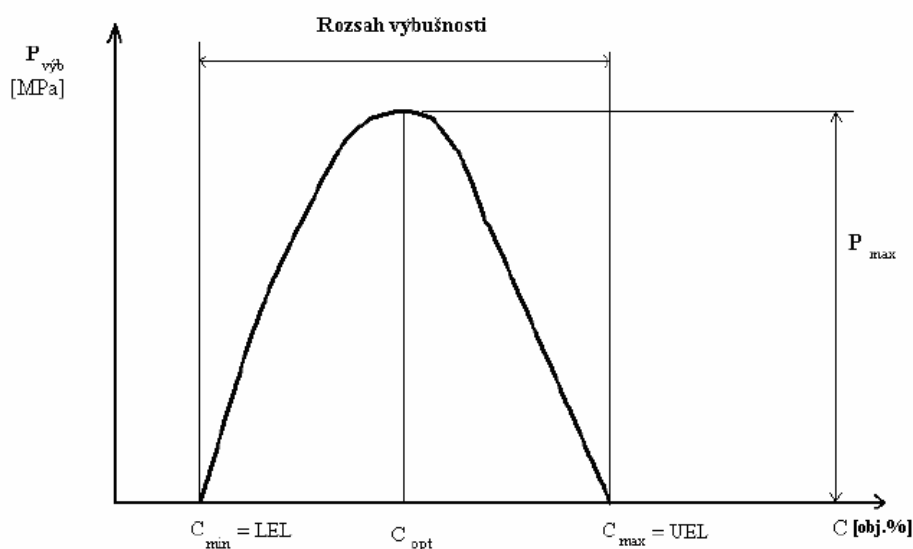
Výraz  $\left( \frac{dp}{dt} \right)_{výb}$  vyjadřuje rychlost narůstání výbuchového tlaku při výbuchu směsi o koncentraci  $c_x$  v uzavřeném objemu  $V$ .

### 2.1.5 Vliv koncentrace na maximální výbuchové parametry

Koncentrace výbušné směsi výrazně ovlivňuje tvar výbuchové křivky spolu snižuje hodnoty  $\left(\frac{dp}{dt}\right)_{\text{výb}}$  a  $p_{\text{výb}}$ . Nejvyšších hodnot charakterizujících výbuch je dosahováno při optimální koncentraci  $c_{\text{opt}}$ . Tyto hodnoty nazývají maximální výbuchový tlak, značíme  $p_{\text{max}}$  a maximální rychlost narůstání výbuchového tlaku  $(dp/dt)_{\text{max}}$ . Optimální koncentrace je u plynů a par o málo vyšší než stechiometrická [1].

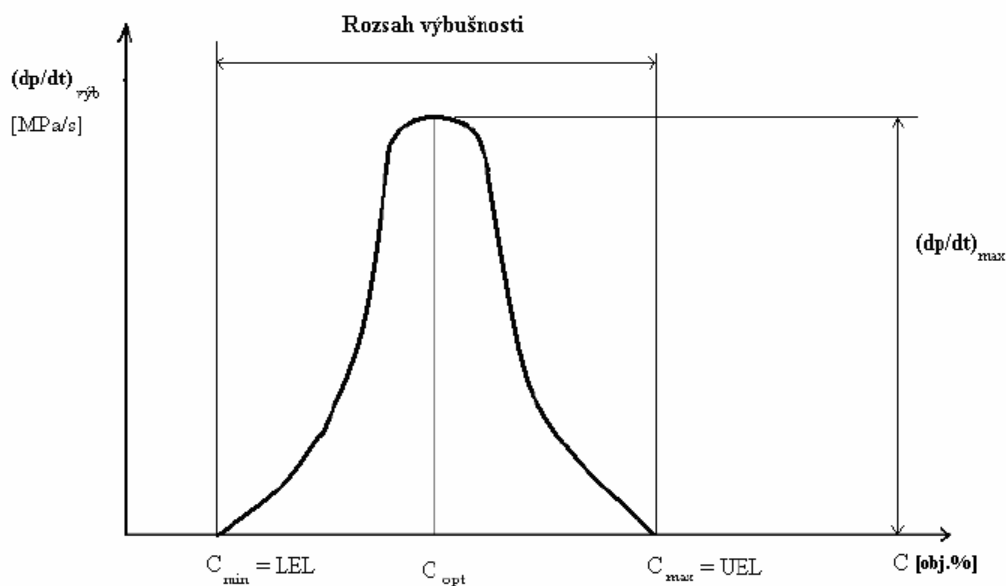
Zvýšením nebo snížením koncentrace od  $c_{\text{opt}}$  se  $p_{\text{výb}}$  a  $(dp/dt)_{\text{výb}}$  snižují až k dolním mezím výbušnosti, neboli dolní mez rozsahu výbušnosti, kterou značíme LEL – lower explosion limit. LEL představuje nedostatek hořlavé látky ve směsi s oxidačním prostředkem, proto nezávisí na poměru kyslíku nebo dusíku ve směsi. UEL – upper explosion limit, neboli horní mez rozsahu výbušnosti představuje naopak nedostatek oxidačního prostředku. Hodnota UEL je silně závislá na podílu kyslíku ve vzduchu [1].

Příklad ovlivnění výbuchové křivky ( $p_{\text{výb}}$  a  $(dp/dt)_{\text{výb}}$ ) koncentrací výbušné směsi pro plyny a páry hořlavých kapalin můžeme pozorovat na grafech 2, 3.



Graf 2  $P_{\text{max}}$  plynu v závislosti na koncentraci dle [7]





Graf 3  $(dp/dt)_{\text{max}}$  plynu v závislosti na koncentraci dle [7]

## 2.2 Koncentrační hranice (meze) výbušnosti

Koncentrační hranice výbušnosti slouží k stanovení prostředí s nebezpečím výbuchu. Udávají rozmezí koncentrace hořlavé látky nejčastěji ve směsi se vzduchem, při které dochází po iniciaci k hoření nebo k výbuchu a ohraničují oblast. Meze výbušnosti jsou závislé na počáteční teplotě, tlaku plynu, přítomnosti inhibičních látek, tvaru a velikosti prostoru (zkušební nádoby) [2]. Rozlišujeme na dolní hranici výbušnosti a horní hranici výbušnosti.

V případě zvyšování teploty a tlaku se snižuje dolní hranice výbušnosti a horní se zvyšuje. Toto má za následek rozšíření oblasti výbušnosti [2].

Koncentraci považujeme za nebezpečnou dosahuje-li již 50% z hodnoty dolní hranice výbušnosti [3].

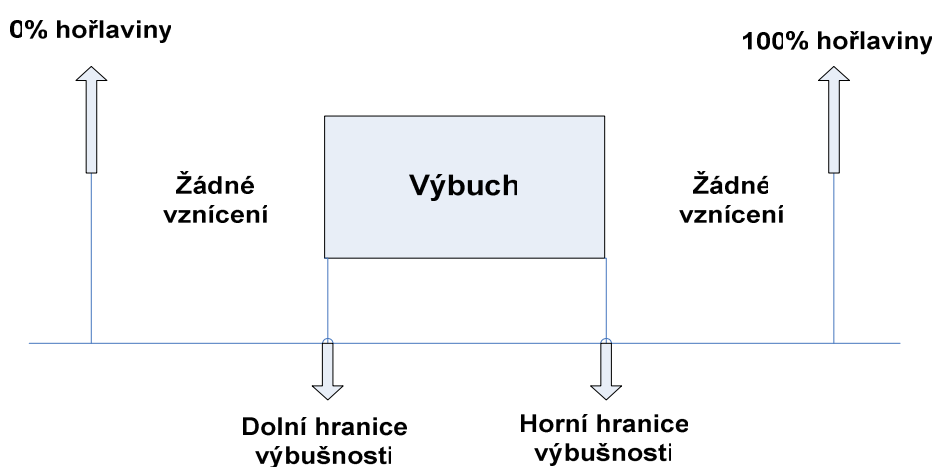
### 2.2.1 Dolní koncentrační hranice výbušnosti

Je nejnižší koncentrace hořlaviny vyjádřená v obj. % nebo  $\text{g.m}^{-3}$  ve směsi se vzduchem, kyslíkem či jiným oxidačním prostředkem, která je schopná při určité iniciační energii šířit plamen [2].

### 2.2.2 Horní koncentrační hranice výbušnosti

Je nejvyšší koncentrace hořlaviny (plynu a par) vyjádřené v objemových % nebo v  $\text{g.m}^{-3}$  ve směsi se vzduchem, kyslíkem nebo jiným oxidačním prostředkem, která je ještě výbušná [2]. Nad tuto hranici je směs nevýbušná (přesycená) Zde je možná iniciace jenom při dalším přívodu vzduchu a zředění směsi [4].

Z těchto skutečností vyplývá, že jsou pro nás z požárního a výbuchového hlediska nebezpečné koncentrace plynů a par hořlavých látek mezi dolní a horní hranicí výbušnosti. Vztah mezi hranicemi je znázorněn na obrázku 1.



Obrázek 1 Hranice (meze) výbušnosti dle [2]

### 2.2.3 Stanovení koncentračních hranic (mezí) výbušnosti

Stanovením mezí výbušnosti plynů, par a jejich směsí se vzduchem se věnuje norma ČSN EN 1839. Tato norma platí pro plyny, páry a jejich směsi při atmosférickém tlaku a teplotách v rozmezí okolní teploty až do 200 °C. Uvádí se zde dvě zkušební metody stanovení mezi výbušnosti. Jedná se o metodu T a metodu B. V metodě T tzv. Trubicové metodě je zkoušená směs napouštěna do válcové nádoby po ustálení je zapálena pomocí indukčních jisker za sledování odtržení či neodtržení plamene. Metoda B probíhá v uzavřené nádobě, kde se zkoušená směs vystaví iniciačnímu zdroji. Měříme vzniklý přetlak. Postupně měníme obsah látky ve zkušební směsích do doby naměření LEL a UEL [8].

Pro stanovení mezí výbušnosti můžeme dle [5] použít následující vztahy.

$$c_{\min} = \frac{4600}{\Delta H_c}, \quad (2)$$

$$c_{\max} = 7,1 \cdot \frac{0,56}{c_{\min}}, \quad (3)$$

$$\Delta H_c = \frac{h_h \cdot M}{1000}. \quad (4)$$

Meze výbušnosti jednotlivých směsí se vypočítají podle vzorce [5] :

$$c_{\min, \max} = \frac{100}{\sum \frac{x_i}{c_{\min, \max, i}}} \quad (5)$$

kde:

$C_{\min}$  - dolní mez výbušnosti v obj. %,  $C_{\max}$  - horní mez výbušnosti v obj.%,  $h_h$  - horní měrná výhřevnost v  $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $M$  - molární hmota v  $\text{kg} \cdot \text{kmol}^{-1}$ ,  $C_{\min, \max, i}$  - meze výbušnosti dané složky v obj.%,  $X_i$  - podíl plynu  $i$  ve směsi v obj.%,  $\Delta H_c$  - spalná entalpie v  $\text{kJ} \cdot \text{kmol}^{-1}$ .

Pro výpočet koncentračních mezí lze použít také tzv. Le Chatelierovo pravidlo. To umožňuje vypočíst mez výbušnosti směsi, jsou-li známy meze výbušnosti jednotlivých složek soustavy. Platí [5]:

$$L = \frac{100}{\sum \frac{p_i + \frac{p_{in}}{100} \cdot k}{L_i}} [\%], \quad (6)$$

$$\sum p_i + p_n = 100 [\%]. \quad (7)$$

Kde  $p_i$  je objemové procento složky  $i$  ve směsi,  $L_i$  je mez výbušnosti složky  $i$  v objemových procentech,  $p_{in}$  je objemové procento inertní složky ve směsi. Používá se, je-li obsah inertu větší než 50 %. Korekční koeficient  $k = 0,4$  pro dolní,  $k = 1,3$  pro horní mez. Do vztahu je nutné vždy dosazovat stejné meze, a to buď dolní, nebo horní. Výsledky z tohoto vztahu nejsou vždy úplně přesné, a proto pokusné hodnoty vykazují vždy větší či menší odchylky od výpočtu. Pravidlo má větší přesnost pro dolní meze než pro horní a vyhovuje tím lépe, čím je nižší obsah složek [5].

## 2.3 Ovlivnění mezí výbušností plynů a par hořlavých kapalin

Pracovní podmínky se mnohdy liší od laboratorních a proto je důležité znát možné vlivy na meze výbušnosti a uvažovat tyto vlivy při posuzování prostředí s nebezpečím výbuchu. Znalost mezí výbušnosti, konkrétní vlivy a charakter dané situace napomáhá řešení otázek protivýbuchové ochrany [8].

Podle [4] polohu a šířku rozsahu výbušnosti ovlivňuje zejména:

- stupeň čistoty hořlavých médií,
- tlakové a teplotní poměry,
- množství kyslíku,
- podíl inertu.

### 2.3.1 Velikost iniciační energie $E_i$

Se zvyšující se iniciační energií se rozsah výbušnosti rozšiřuje. Zejména horní mez výbušnosti se posouvá k vyšším hodnotám. Meze výbušnosti se běžně stanovují při pokojové teplotě, atmosférickém tlaku a standardní iniciační energii, která je u plynů a par  $E_i = 10\text{J}$ , u prachů používáme  $E_i = 10\text{KJ}$ . U některých látek tyto standardní energie nestačí k iniciaci a proto je nutno použít energie vyšší [7].

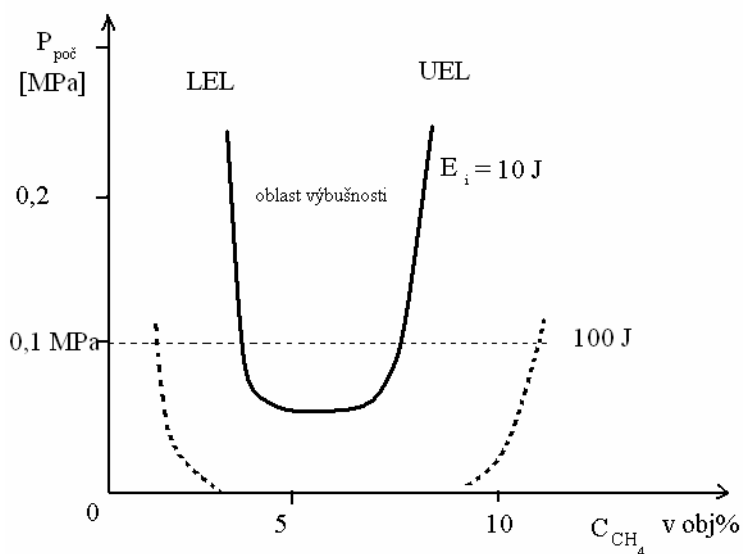
Přehled iniciačních zdrojů, jež mají vliv na velikost horní meze výbušnosti je znázorněn v tabulce 1.

**Tabulka 1** Přehled iniciačních zdrojů s vlivem na horní mez výbušnosti (zkoušené médium: ethin okolní tlak 0,1MPa) dle [4]

Iniciace pomocí	Iniciační energie v W·s	Horní mez výbušnosti v obj. %
indukční jiskry	2,7	36
zápalnice	2,0	55
elektrického oblouku	≈ 3,0	59
utaveného drátu	3,5...9,0	62,5

### 2.3.2 Počáteční tlak v okamžiku iniciace

Značíme ho  $p_{\text{poč}}$ . Rostoucí počáteční tlak má za následek zvýšení horní meze výbušnosti. (Dolní mez výbušnosti se snižuje jenom nepatrně). S klesajícím tlakem se zužuje rozsah výbušnosti a u některých směsí se oblast výbušnosti uzavírá. Při určitém podtlaku vůbec nedochází při dané iniciační energii k výbuchu. Podtlak lze považovat jako protivýbuchové opatření [7]. Vliv počátečního tlaku a iniciační energie na meze výbušnosti udává graf 4.



Graf 4 Vliv počátečního tlaku a iniciační energie na meze výbušnosti směsi metanu se vzduchem dle [7]

### 2.3.3 Vlhkost

Je to proměnný faktor. Relativní vlhkost směsi plynu se vzduchem ovlivní rozsah výbušnosti jen nepatrně. Nejvyšší rozsah výbušnosti má suchá směs [7]. Vlhkost hraje roli spíše u prachů.

### 2.3.4 Počáteční teplota

S rostoucí teplotou se rozsah výbušnosti rozšiřuje. Dolní mez výbušnosti se snižuje a horní se zvyšuje. Závislost je lineární, ale směrnice přímky není stejná pro všechny látky. Orientačně lze vliv počáteční teploty vypočítat pomocí stanovených empirických rovnic [1].

Vliv teploty na meze výbušnosti u hořlavých kapalin [1]:

$$LEL_t = LEL_{298} \cdot \left(1 - \frac{T_{PRAC} - 298}{1260}\right), \quad (8)$$

$$UEL_t = UEL_{298} \cdot \left(1 + \frac{T_{PRAC} + 298}{800}\right), \quad (9)$$

kde:

$LEL_T, UEL_T$  ...dolní a horní mez výbušnosti při teplotě T v [obj. %],

$LEL_{298}, UEL_{298}$  ...dolní a horní mez výbušnosti při 298 K v [obj. %],

$T_{PRAC}$  ...pracovní teplota v [K].

Pro hořlavé plyny a páry hořlavých kapalin [1]:

$$LEL_t = LEL_{25^\circ C} \cdot /1 - 0,0011 \cdot (t - 25)/, \quad (10)$$

$$UEL_t = UEL_{25^\circ C} \cdot /1 + 0,00214 \cdot (t - 25)/, \quad (11)$$

kde:

$LEL_t, LEL_{25^\circ C}$  ...dolní mez výbušnosti při teplotě t a 25°C v [obj. %],

$UEL_t, UEL_{25^\circ C}$  ...horní mez výbušnosti při teplotě t a 25°C v [obj. %],

t ...pracovní teplota ve [°C].

Znalost teplotní závislosti dolní meze výbušnosti je velmi užitečným nástrojem v zabránění výbuchu, např. pro sušení při vyšších teplotách. S rostoucí teplotou klesá dolní mez výbušnosti. Takže její používání při běžné teplotě okolí, není dostatečně bezpečné, o vyšších teplotách. Teplotní závislost dolní meze výbušnosti hořlavých kapalin závisí na příslušné kapalině a je ovlivněna průměrem nádoby. I když je dolní mez výbušnosti čisté hořlavé látky známa pro zvýšené teploty, není to dostatečné, pokud jsou zapojeny směsi chemických látek [9].

### **2.3.5 Obsah kyslíku**

Obsah kyslíku má dopad především na horní mez výbušnosti, která představuje právě nedostatek kyslíku. Tuto mez posouvá výrazně k vyšším hodnotám. Dolní mez výbušnosti obsah kyslíku neovlivňuje, protože kyslík má zhruba stejnou měrnou tepelnou kapacitu jako dusík [1].

V případě dodání kyslíku směsi můžeme docílit toho, že se směs, která nebyla nebezpečná, dostane do rozsahu výbušnosti. Zvýšení obsahu kyslíku vede také spolu s vyšší teplotou, tlakem a obsahem příměsí vést k stoupání rychlosti šíření plamene [4].

Obsah kyslíku má velký vliv hlavně při procesu inertizace, kde se přivedením inertního plynu do směsi snažíme obsah kyslíku snížit a tím zúžit rozsah výbušnosti u hořlavých kapalin [1,4]. Inertní plyny a jejich vliv na teplotní meze výbušnosti je předmětem mé diplomové práce. Na toto téma se zaměřím v dalších částech mé diplomové práce

### **2.3.6 Vytváření hybridních směsí**

Malá množství hořlavého plynu nebo páry hořlavé kapaliny velmi prudce sníží dolní mez výbušnosti směsi hořlavého prachu nebo kapiček kapaliny se vzduchem. K výbuchu může dojít i tehdy, není-li dosaženo dolní meze výbušnosti ani prachovzduchové, plynovzduchové směsi [1].

## **2.4 Teplotní hranice (meze) výbušnosti**

Teplotní meze výbušnosti nám pomáhají vymezit bezpečné teplotní režimy uzavřených technologických zařízení. Díky těmto mezím jsme schopni si lépe představit nebezpečí zvýšení nebo snížení pracovní teploty a tím vyjádřit nebezpečí hořlavých kapalin [3].

Existuje přímá souvislost mezi parciálním tlakem a koncentrací směsi u hořlavých kapalin díky na základě povrchové teploty. Každé teplotě je přiřazena určitá koncentrace. Teploty přiřazené koncentraci dolní a horní meze výbušnosti se označují jako dolní respektive horní teplotní meze výbušnosti [4].

Podle [1] nebezpečí výbuchu hrozí, jestliže:

$$LEP - \Delta t \leq t_{PRAC} \leq UEP + \Delta t, \quad (12)$$

kde:

LEP, UEP ...dolní a horní bod (teplotní mez) výbušnosti v [°C].

Podle norem ČSN 65 0201 -Hořlavé kapaliny, ČSN 33 2320 - Předpisy pro elektrická zařízení v místech s nebezpečím výbuchu hořlavých plynů a par je bezpečnostní hodnota  $\Delta t = 10 \text{ °C}$ . Rozsah výbušnosti daný dolní a horní mezí výbušností rozšířený na každou stranu o  $\Delta t$  udává rozsah nebezpečí, který je znázorněn na obrázku 2.



Obrázek 2 Znázornění teplotní osy, rozsahu výbušnosti a rozsahu nebezpečí dle [1]

#### 2.4.1 Dolní teplotní hranice (meze) výbušnosti

Představuje nejnižší teplotu, při které se v uzavřeném prostoru zahříváním zkoušené kapaliny, za předepsaných podmínek, vytvoří takové množství par, že se ve směsi se vzduchem po iniciaci (jiskrou, plamenem, rozžhavenou spirálou) může šířit plamen. Teplota odpovídá tlaku nasycených par při dolní hranici (mezi) výbušnosti. Dolní teplotní hranice výbušnosti je ekvivalentní hodnota teploty vzplanutí avšak je většinou nižší než teplota vzplanutí vlivem exaktnější metodiky při stanovování [3].

#### 2.4.2 Horní teplotní hranice (meze) výbušnosti

Horní teplotní hranice výbušnosti je naopak ta nejvyšší teplota, při které kapalina vytváří v uzavřených prostorech, za předepsaných podmínek, takové množství par, že jejich směs se vzduchem může být ještě iniciována. Když se teplota zvýší nad tuto mez, pak se vytváří směs neschopná iniciace. Jde o velké množství hořlaviny v poměru k oxidačnímu [3].



## 2.5 Hořlavé kapaliny

V praktické části diplomové práce budu pracovat s hořlavými kapalinami, proto se v této části zaměřím na jejich důležité fyzikálně chemické vlastnosti, technicko bezpečnostní parametry a možnosti vytváření nebezpečných koncentrací.

Za hořlavé kapaliny se považují dle ČSN 65 0201 chemické látky nebo jejich směsi pokud [1,3,10]:

- Jsou kapalné při teplotách ve kterých se ve výrobních nebo skladovacích prostorech vyskytují.
- Mají definovanou teplotu vzplanutí, tzn. Stanovenou teplotu vzplanutí dle normou určených metod.
- Lze u nich stanovit teplotu hoření.

Některé látky se za určitých fyzikálních podmínek mohou chovat jako hořlavé kapaliny i když nejsou podle normy ČSN 65 0201 do této skupiny nespádají. Toto je nutné zohledňovat.

### 2.5.1 Fyzikálně chemické vlastnosti

Díky těmto vlastnostem charakterizujeme látky z hlediska chování při úniku a nebezpečí vzniku výbuchu.

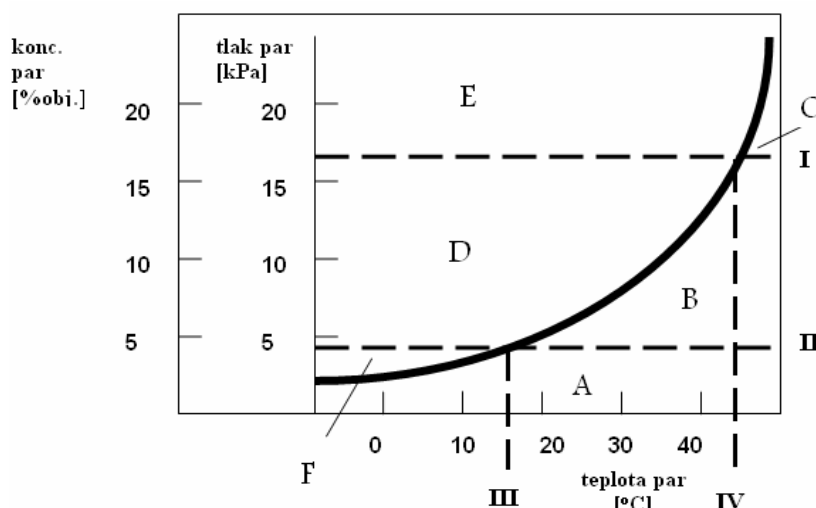
**Molekulová hmotnost:** Molekulová hmotnost je hmotnost molekuly v [Kg, g] a je dána součtem všech atomových hmotností prvků obsažených v molekule. Poskytuje nám první informaci podle které můžeme posuzovat chování látky v případě nedostatku dalších informací. Je mírou měrné hmotnosti plynné fáze, které je důležitá z hlediska chování par v prostoru. Jsou-li lehčí či těžší než vzduch a mírou difúze par. Látky s vyšší molekulovou hmotností mají nižší difúzní koeficient a hůře difundují tzn. hůře naředí. Tento fakt má vliv na tvorbu výbušných koncentrací [11].

**Měrná hmotnost plynné fáze:** Udává měrnou hmotnost páry nebo plynu, vztaženou k měrné hmotnosti vzduchu za stejného stavu (měrná hmotnost vzduchu rovna 1). Látky s hodnotou menší než 1 mají snahu vystupovat nahoru, látky s hodnotou větší než 1 se drží, podle míry rozdílu od 1, při zemi resp. ve dolních částech uzavřeného prostoru. Tato skutečnost je důležitá pro správné umístění vzduchotechniky. V souvislosti s výraznou závislostí měrné hmotnosti na teplotě je nutno upozornit na to, že plyny lehčí než vzduch se

při ochlazení, např. vlivem expanze v tlakových zařízeních, budou po určitou dobu chovat jako těžké plyny [11].

**Měrná hmotnost kondenzované fáze:** Látky s měrnou hmotností menší než  $1 \text{ Kg.m}^{-3}$  mají snahu plavat na vodě. Pokud jsou to kapaliny nerozpustné ve vodě je takový případ velice problematický z hlediska jejich hašení [11].

**Tlak nasycených par:** Všechny kapaliny nad svým povrchem vytvářejí páry. Množství těchto par ovlivňuje teplota, doba vypařování i vzdálenost od povrchu. Tlak nasycené páry je maximální množství par, vyjádřené parciálním tlakem příslušné látky v daném systému, který se může nad daným povrchem látky přidáných podmínkách vytvořit [11]. Závislost tlaku nasycených par na teplotě můžeme vidět v grafu 5.



**Graf 5** Vztah mezi tlakem par, teplotními hranicemi výbušnosti a koncentračními hranicemi výbušnosti ethanu dle [11]

Kde:

I - horní koncentrační hranice (mez) výbušnosti, II - dolní koncentrační hranice (mez) výbušnosti, III - teplota vzplanutí (dolní teplotní hranice výbušnosti), IV - horní teplotní hranice (mez) výbušnosti; A - nevybušná a hořlavá směs, B - výbušná směs, C - hořlavá výbušná směs (po dostatečném přívodu vzduchu), D - výbušná směs kapalných disperzí, E - hořlavá nevybušná směs kapalných disperzí, F - nevybušná směs kapalných disperzí.

**Teplota varu:** Je to teplota, při které látka dosahuje tlaku nasycených par (maximálního parciálního tlaku), který je roven tlaku okolního prostředí. Proto je nutné, aby byl spolu s teplotou varu uveden i tlak. Běžné údaje se vztahují na atmosférický tlak. Obecně platí, že čím má hořlavá kapalina nižší teplotu varu, tím je tvorba výbušné směsi

pravděpodobnější. U technické směsi látek nehovoříme o teplotě varu, ale destilačním rozmezí. Teplota varu je první informací o možnosti vytvoření hořlavé nebo výbušné atmosféry [11].

**Spalné teplo:** Jedná se o množství tepla, které se uvolní dokonalým spálením látky a ochlazením zplodin hoření na původní teplotu. Je mírou tepelné energie, obsažené v látkách. Jeho hodnoty udáváme v J vhodněji v kJ vztažených na mol látky. Spalné teplo je pro nás důležité z hlediska represivních zásahu při požáru, slouží k výpočtu požárního zatížení prostoru [11].

U plynů a par jsme schopni pomocí spalného tepla informativně zjistit dolní hranici výbušnosti podle následujícího vztahu v obj. %: [11]

$$DHV \cdot \Delta H_{\text{spal}} = 4600 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \quad (13)$$

**Slučovací teplo:** Je množství tepla, které se uvolní nebo pohltí při reakci, za tlaku 0,1 MPa a při určité teplotě, v níž výchozí látky jsou prvky a daná sloučenina jediným produktem. Slučovací tepla jsou vyjádřena k určitému standardnímu stavu a platí konvence, že slučovací tepla prvků jsou nulová. Jestliže je slučovací teplo kladné nebo-li při rozkladu látky dochází k uvolňování tepla, můžeme předpokládat, že taková látka je nestálá a výbušná. Plyny a páry těchto látek ve směsi se vzduchem mají rovněž širší oblast výbušnosti ve srovnání s podobnými látkami [11]. Příklad souvislosti oblasti výbušnosti a slučovacího tepla viz. tabulka 2.

**Tabulka 2** Příklad oblasti výbušnosti v souvislosti se slučovacím teplem [11]

Látka	Standardní slučovací teplo [kJ.mol <sup>-1</sup> ]	Oblast výbušnosti [obj. %]
ethan	-84,6	2,9 - 15
ethen (ethylen)	52,3	3,0 - 32
ethin (acetylén)	226,88	1,5 - 81

**Rozpustnost ve vodě:** Každá látka je ve vodě částečně rozpustná. Z hlediska ochrany proti požáru a výbuchu je rozhodující je-li ve vodě rozpustná dokonale. Hořlavé kapaliny, které jsou dokonale mísitelné s vodou vytváří nad roztokem nižší koncentraci hořlavých složek než kapaliny nedokonale mísitelné při stejných teplotách. Zabránění vzniku výbušných směsí docílíme jejich zředěním, čímž snížíme tlak nasycených par hořlavé kapaliny nad roztokem [11].

## 2.5.2 Technicko bezpečnostní parametry

Pojem technicko bezpečnostní parametry shrnuje látkové charakteristiky, které kvalitativně a kvantitativně charakterizují danou hořlavou látku v hořlavém systému z hlediska nebezpečí požáru a výbuchu. Je důležité si uvědomit, že tyto parametry nemají charakter fyzikálních konstant nýbrž poskytují jenom kvantitativní informace o vlastnostech látek. Většina technicko bezpečnostních parametrů je závislá na zkušebním zařízení u kterých je třeba dodržet zkušební používané podmínky pro získání reprodukovatelných hodnot [4].

**Teplota vzplanutí:** hořlavé kapaliny je nejnižší teplota, při které se za přesně definovaných podmínek zkoušky vytvoří nad hladinou takové množství par, že jejich směs se vzduchem přiblížením plamene vzplane a ihned uhasne [4]. Podle teploty vzplanutí řadíme hořlavé látky do tříd nebezpečnosti podle normy ČSN 65 0201 (viz. tabulka. Tato norma také stanovuje další požadavky v souvislosti s hořlavou kapalinou zaměřené na požární bezpečnost, zacházení skladování hořlavých kapalin atd.

**Tabulka 3** třídění hořlavých kapalin dle [10]

<b>Třída nebezpečnosti</b>	<b>Teplota vzplanutí [°C]</b>
I	do 21
II	nad 21 do 55
III	nad 55 do 100
IV	nad 100

Výbušné směsi mohou tvořit: [3]

- páry hořlavé kapaliny I a II třídy nebezpečnosti při normální podmínkách,
- hořlavé kapaliny I – IV třídy nebezpečnosti jako disperze a mlhy při teplotách nižších než je jejich teplota vzplanutí,
- hořlavé kapaliny II a IV třídy při zahřátí na teplotu vzplanutí a vyšší v uzavřených prostorách nebo jako disperze ve vzduchu i při normální teplotě.

Stanovení teploty vzplanutí se provádí podle druhu kapaliny buď v uzavřeném kelímku podle ČSN 65 6065 Abel – Pensky, ČSN 60 6064 Pensky - Martens nebo otevřeném kelímku podle ČSN 65 6212 Cleveland.

Množství par, které se vytvoří při stanovení teploty vzplanutí představuje přibližně hodnotu dolní hranice výbušnosti [3].

**Teplota vznícení:** Nejnižší teplota horkého povrchu, při kterém se optimální směs par nebo plynů dané látky se vzduchem na předepsaném zařízení a při předepsaném pracovním postupu vznítí [3].

Teplota vznícení je kritériem pro zařazení do teplotních tříd podle ČSN 33 0371. Členění těchto tříd můžeme vidět v tabulce 4.

**Tabulka 4** Teplotní třídy dle [3]

Teplotní třída	Teplota vznícení [°C]	Příklady s uvedením teploty vznícení [°C]
T1	nad 450	aceton (535)
T2	nad 300 do 450	butanol (408)
T3	nad 200 do 300	n-heptan (215)
T4	nad 135 do 200	acetaldehyd (140)
T5	nad 100 do 135	sírouhlík (102)
T6	nad 85 do 100	ethylnitrit (90)

Význam teploty vznícení spočívá v tom, že představuje teplotu, která je nebezpečná pro vznícení směsí hořlavých plynů nebo par od iniciačních zdrojů jako jsou zahřáté části stroje, tepelné výměníky, rozvody. Z důvodu rozdílných metodik stanovení se můžeme v literatuře setkat s různě uváděnými teplotami vznícení. Nejvhodnější a zároveň nebezpečnější je postup použití nejnižší uváděné hodnoty [3].

Nutnost znalosti teploty vznícení v praxi prokazují následující poznatky: [2, 3]

- oblast teploty vznícení v praxi běžně používaných látek se pohybuje od 100 °C (sírouhlík, acetaldehyd, ropné produkty s vyšší molekulovou hmotností),
- teplota vysokotlaké přehřáté páry může být vyšší než 450 °C,
- v technologických provozech mohou být povrchové teploty značně vyšší,
- i v domácnosti se vyskytují různé spotřebiče které mohou mít vysokou povrchovou teplotu.

**Teplota hoření :** Je nejnižší teplota, při které kapalina zahřívána v předepsaném přístroji za definovaných podmínek vyvine tolik par, že jejich směs se vzduchem po přiblížení iniciačního zdroje vzplane a hoří bez přerušení nejméně 5 sekund. Stanovení teploty hoření roztoků a směsí hořlavých kapalin je důležité pro charakterizování hořlavé kapaliny ve smyslu normy ČSN 65 0201. Teplota hoření leží  $\approx 40 - 50$  °C výše než teplota vzplanutí. Rozdíl mezi těmito teplotami je tím větší čím je vyšší bod varu hořlavé kapaliny [3,4 ].

**Mezní experimentální bezpečná spára:** Používáme zkratku MEBS. Jedná se o vzdálenost mezi dvěma plochami, vymezenými mezikružím o šířce 25 mm, vytvářející spáru, přes kterou se na předepsaném zkušebním zařízení a předepsaným způsobem nepřenese výbuch studovaného plynu (nebo páry) o optimální koncentraci. Norma ČSN 33 0371, definuje metodika zkoušení a aplikace výsledků MEBS. Výsledky zkoušky se používají ke stanovení skupiny výbušnosti pro posouzení krytí elektrických zařízení určených do prostoru s nebezpečím výbuchu a pro konstrukci a určování druhu neprůbojných pojistek [3].

**Minimální zápalný proud:** Dále jen MZP. Jde o nejnižší hodnota elektrického proudu, který je schopen při přeskočce induktivní jiskry iniciovat zkoumanou směs předepsaném zkušebním zařízení. Hodnoty MZP se pohybují v rozmezí od 20 do 150 mA. V praxi se používá ve formě bezrozměrového poměru  $MZP_{\text{látky}} / MZP_{\text{metanu}}$  jako další kritérium pro určení skupiny výbušnosti dle ČSN 33 0371 [3].

**Minimální iniciační energie:** Dále jen MIE. MIE je nejnižší energie kapacitní jiskry, která je schopna zapálit nejsnadněji iniciovatelnou (stechiometrickou) směs hořlavého plynu nebo páry ve směsi s oxidačním prostředkem. MIE je důležitá pro posuzování potenciálního nebezpečí iniciace hořlavých plynných směsí elektrostatickými a indukovanými výboji. MIE podkladem pro zatřídění látky do třídy jiskrové citlivosti, které jsou uvedeny v tabulce 5. MIE uhlovodíků klesá se stoupající provozní teplotou a silně roste se stoupající rychlostí proudění směsi [3].

**Tabulka 5 Třídy jiskrové citlivosti dle [3]**

třída citlivosti	MZE [mJ]	Příklady	
		Látka	MZE [mJ]
1	do 0,025	vodík	0,011
2	od 0,025 do 0,2	ethen	0,07
3	od 0,2 do 4,0 od 4,0 do 20	methan	0,28
4	od 4,0 do 20	prachy a disperze	
5	větší než 20	prachy a disperze	

**Limitní (kritický) obsah kyslíku:** Pro označení používáme zkratku LOC. Je to hodnota vyjadřující nejmenší množství kyslíku ve směsi hořlavina – kyslík – inert, při kterém dochází ještě k hoření. LOC je závislý na teplotě, druhu inertní látky a částečně tlaku. U většiny organických látek, například ethinu, má LOC přibližně 10 obj. %. Hodnota LOC je hlavním kritériem inertizačního účinku. Inertizační účinek látky je tím lepší, čím je LOC pro danou látku vyšší viz. tabulka 6. V tabulce 7 jsou znázorněny podle [3,4] koncentrace kyslíku, které zaručí spolehlivou inertizaci.

Tabulka 6 LOC v různých inertizačních atmosférách dle [11]

LOC v atmosféře v [obj. %]					
Látka	Helium	Dusík	Oxid uhličitý	Voda	Tetrachlor-metan
Vodík	5 (vzduch)		6 (vzduch)		
Methan	11,1	11,9	13,5	14	16,7

Tabulka 7 Maximální obsah kyslíku a nutný obsah inertizačního prostředku dle [4]

Koncentrace	Inertizační prostředek v [obj. %]		
	dusík	vodní pára	oxid uhličitý
$C_{I,min,O}$	60,0	48,0	42,0
$C_{O_2,max}$	8,6	9,9	12,2

kde:

$C_{I,min,O}$  ...minimální potřebná koncentrace inertizačního prostředku ve směsi,

$C_{O_2,max}$  ...maximálně přípustnou koncentraci kyslíku ve směsi.

Podrobněji se budu LOC věnovat v kapitole inertizace, kde se zaměřím na faktory, které LOC výrazně ovlivňují a jeho spojitost právě s inertizací jako takovou.

**Rychlost odhořívání:** Závislí na chemických vlastnostech látky. Může být ovlivněno řadou okolností jako přebytek nebo nedostatek kyslíku při hoření či druhem uskladnění [11].

**Rychlost šíření plamene:** Je vyšší než rychlost odhořívání, protože teplo uvolněné při spalování značně zvýší objem spalných produktů, sníží se jejich hustota a tím se zvýší rychlost, kterou produkty odcházejí z hořící vrstvy a jsou zdrojem dalšího hoření [11].

Další významné technicko bezpečnostní parametry (koncentrační hranice výbušnosti, teplotní hranice výbušnosti a výbuchové charakteristiky) již byli zmíněny v předešlých částech nebo nejsou stěžejní pro téma mé diplomové práce.

## 2.6 Vytváření výbušných směsí u plynů a par hořlavých kapalin

Základní předpoklad pro výskyt výbušné atmosféry je, že hořlavé a vznětlivé látky, v našem případě plyny a páry hořlavých kapalin, mohou vytvářet spolu se vzduchem směsi ,umožňující vznik a šíření výbuchu, pokud zkoušky neprokázaly opak [1].

Při posuzování prostoru a zařízení z hlediska přítomnosti či tvorby výbušné směsi tedy musíme nejprve zjistit, zda se v posuzovaném prostoru či zařízení nacházejí hořlavé látky a zda jsou schopny se vzduchem nebo s jiným oxidačním prostředkem výbušné směsi vytvářet. Dále nás zajímá jestli se příslušná výbušná směs vyskytuje v nebezpečném

koncentračním rozsahu a nebezpečném množství. Přitom je nutno uvažovat možnost vzniku výbušné směsi chemickými reakcemi a biologickými procesy z přítomných materiálů [1].

Množství hořlavé látky ve směsi musí být takové, aby skutečná (pracovní) koncentrace byla uvnitř rozsahu nebezpečí. Nebezpečí výbuchu je dáno, jestliže jsou splněny látkové předpoklady výbuchu přičemž předpokládáme, že iniciace je možná vždy. Nebezpečí výbuchu tedy nezávisí na přítomnosti iniciačních zdrojů [1].

Při stanovení nebezpečí výbuchu řešíme tedy, zda se může v konkrétním případě vyskytnout výbušná směs. Jaké množství této směsi může vzniknout při daných pracovních podmínkách a jeli toto vytvořené množství nebezpečné [1].

Tvorba výbušné směsi závisí za prvé na vlastnostech látky. Vlastnosti jsou pro plyny páry hořlavých kapalin vyjádřeny dolní, horní koncentrační hranicí výbušnosti a dolní, horní teplotní hranicí výbušnosti. Za druhé závisí na pracovních podmínkách reprezentovaných pracovní teplotou, tlakem, stavem pohybu prostředí (klid, turbulence), velikosti, tvarem, uspořádáním prostředí, propojením s jinými prostory, způsobem zpracování kapaliny, přítomnosti prachů a tvorba usazenin. Tvorbu výbušné směsi ovlivní je-li látka v uzavřeném zařízení, ve kterém je možný únik netěsnostmi a potrubními spoji, prostorové upořádání a odvětrávání. Je třeba si také uvědomit, že již malý pohyb vzduchu může urychlit promíchání hořlavé látky se vzduchem [1].

Množství vzniklé výbušné směsi ovlivňuje poměrná hustota  $\rho_{rel}$  vzhledem k vzduchu, která je u většiny plynů a par větší než hustota vzduchu. Čím je hustota par a plynů větší, tím rychleji klesají dolů, šíří se do stran a mísí se vzduchem. U menší hustoty než vzduch stoupají. Hustota směsi par kapaliny se vzduchem je dána tlakem par a ten závisí na teplotě. V uzavřených prostorech bez proudění vzduchu určuje množství směsi také difusní koeficient [1].

Nebezpečné množství výbušné směsi je v uzavřeném prostoru nezávisle na jeho velikosti považováno již  $10 \text{ dm}^3$  výbušné směsi. V prostorách menších než  $100 \text{ m}^3$  se za nebezpečné množství považuje desetitisícina objemu daného uzavřeného prostoru [1].



### 2.6.1 Nebezpečné koncentrace

Tvorba nebezpečné koncentrace u hořlavé kapaliny hrozí, jestliže: podle [1]

$$k_{b1} \cdot LEL < c_{SKUT} < k_{b2} \cdot UEL, \quad (14)$$

kde:

$k_{b1}, k_{b2}$  ...bezpečnostní koeficienty,

$LEL, UEL$  ...dolní a horní mez výbušnosti v obj. % nebo v  $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ,

$c_{skut}$  ...skutečná koncentrace v obj. % nebo v  $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ .

V uzavřeném zařízení nebo nádrži se skutečná koncentrace par hořlavé kapaliny rovná koncentraci nasycených par:

$$c_{SKUT} = c_S, \quad (15)$$

kde:

$c_s$  ...koncentrace nasycených par hořlavé kapaliny v obj. %,

Koncentrace nasycených par se vypočítá:

$$c_S = \frac{p_S}{p_{PRAC}} \cdot 100, \quad (16)$$

kde:

$p_s$  ...tlak nasycených par kapaliny při dané teplotě v Pa,

$p_{prac}$  ...pracovní tlak v Pa.

Objemová koncentrace par  $c_v$  se může přepočítat na hmotnostní koncentraci  $c_m$

v  $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ :

$$C_m = \frac{M \cdot c_v}{100 \cdot V_t}, \quad (17)$$

kde:

$M$  ...molární hmotnost v  $\text{kg} \cdot \text{kmol}^{-1}$ ,

$V_t$  ...molární objem při teplotě  $t_{prac}$  v  $\text{m}^3 \cdot \text{kmol}^{-1}$ .

Molární objem  $V_t$  při teplotě  $t_{\text{prac}}$  se vypočítá:

$$V_t = V_0 \cdot \frac{T_{\text{PRAC}}}{T_0} \cdot \frac{p_0}{p_{\text{PRAC}}}, \quad (18)$$

kde:

$$V_0 = 22,4135 \text{ m}^3 \cdot \text{kmol}^{-1} \text{ (při } T_0 \text{ a } p_0),$$

$$P_0 = 1,01325 \cdot 10^5 \text{ Pa},$$

$$T_{\text{PRAC}} = t_{\text{PRAC}} + 273,15 \text{ K},$$

$$T_0 = 273,15 \text{ K},$$

$$T_{\text{PRAC}} \quad \dots \text{pracovní teplota ve } ^\circ\text{C},$$

$$p_{\text{PRAC}} \quad \dots \text{pracovní tlak v Pa}.$$

U plynů a přehřátých par hořlavých kapalin ve směsi se vzduchem, s kyslíkem, chlorem a jinými oxidačními činidly hrozí nebezpečí výbuchu jestliže platí: podle [1]

$$k_{b1} \cdot LEL < c_{\text{SKUT}} < c_{\text{neb,H}} = \frac{100 - (100 - UEL)}{k_{b2}}, \quad (19)$$

Skutečná koncentrace hořlavého plynu v objemových % se stanoví ze vztahu:

$$c_{\text{SKUT}} = \frac{V_{\text{PLYN}}}{V_{\text{PLYN}} + V_{\text{OX}}} \cdot 100 \quad (20)$$

Bezpečnostní koeficienty se obvykle uvažují:

$$K_{b1} = 0,5,$$

$$K_{b2} = 1,04 \text{ až } 1,1 \text{ pro nízké hodnoty UEL},$$

$$K_{b2} = 1,32 \text{ až } 2,52 \text{ pro vysoké hodnoty UEL, například } \text{H}_2, \text{C}_2\text{H}_2, \text{CH}_3\text{OH}.$$

## 2.7 Vypařování kapalin

Vytváření hořlavých směsí z par hořlavé kapaliny a oxidačního prostředku souvisí se schopností kapaliny vypařovat se. Při vypařování dochází k přeměně, při které se kapalina respektive její povrch mění na plyn. Tato přeměna závisí v první řadě na teplotě. S rostoucí teplotou roste rychlost vypařování. Ovlivňují ji, ale i faktory jako jsou velikost povrchu

vypařované kapaliny, jestli dochází k pohyb plynu nad kapalinou a samozřejmě také vlastnosti dané kapaliny [4, 12].

Fyzikální děj vypařování jednosložkových kapalin lze psát ve formě chemické rovnice [5]:



K vypařování kapaliny dochází v otevřeném i v uzavřeném prostoru. V uzavřeném prostoru se objem kapaliny zmenšuje, současně se zvětšuje hustota a tlak páry nad kapalinou. Po jisté době se ustaví rovnováha tzn. počet molekul opouštějících kapalinu je stejný jako počet molekul, které se vrací zpět, objemy kapaliny a páry se tedy nemění, zůstává stálý tlak i teplota soustavy. Pára, která je v rovnovážném stavu se svou kapalinou, se nazývá nasycená pára. Vzduch v prostoru může přijímat páry kapaliny jen do nasycení [13].

Tlak nasycené páry nad kapalinou s rostoucí teplotou roste. Díky zvýšené teplotě kapaliny a její nasycené páry dojde k zvýšení vnitřní energie soustavy. To povede k dalšímu výparu kapaliny, která zvýší hustotu molekul nasycené páry a jejich střední rychlost [13]. Závislost tlaku nasycené páry na teplotě a výpočet teploty varu můžeme získat pomocí Clausius - Clapeyronovy rovnice: podle [5]

$$\frac{d(\ln p)}{dT} = \frac{\Delta H_v}{R \cdot T^2} \qquad (22)$$

kde:

$\Delta H_v$	...výparné teplo,
$P$	...relativní tlak,
$R$	...molová plynová konstanta ( $R = 8,314 \text{ v J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ ),
$T$	...teplota.

Odlogaritmováním Clausius - Clapeyronovy rovnice získáme závislost tenze nasycené páry na teplotě, která má exponenciální charakter:

$$\ln p = -\frac{\Delta H_v}{R \cdot T} + C, \qquad (23)$$

Veličina C je konstanta pro dané  $\Delta H_v$ , T, p. Po odlogaritmování dostáváme tedy tvar:

$$p = A \cdot \exp\left(-\frac{\Delta H_v}{R \cdot T}\right) \quad (24)$$

Obdobu Clausius - Capecyronovy rovnice je Antoineova rovnice. Tato rovnice vystihuje závislost tlaku na teplotě od trojného bodu až po bod varu:

$$\log p = A - \frac{B}{C + T} \quad (25)$$

kde:

A,B,C jsou empirické konstanty.

### 2.7.1 Molekulární difúze

Difúze je proces samovolného přemísťování částic z jedné polohy do jiné. Částice kapaliny se tedy rozptylují v prostoru a mohou vznikat výbušné směsi hořlavé kapaliny s oxidačním prostředkem. Díky difúzi přecházejí koncentrace nad hladinou kapaliny do oblasti rozsahu výbušnosti [5].

Hybnou silou difúze je změna Gibbsovy energie. Existují různé mechanismy difúze. U plynů a roztocích mění částice směr a rychlost díky srážkám. Difúze pevných látek souvisí s kmitáním částic a poruchami mřížky [5].

Difúzní koeficient: jedná se o látkovou konstantu závislou na teplotě a tlaku. Udává množství látky, které difunduje jednotkovým průřezem za jednotku času. Vztáhneme-li difúzní koeficient ke vzduchu, dostáváme měřítko jakou rychlostí se plyny a páry šíří. Difúzní koeficient značíme symbolem D. jednotka je  $\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  nebo  $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ . Podle [4] lze difúzní koeficient pro uhlovodíky stanovit následovně:

$$D \approx \frac{0,765}{\sqrt{M}} \quad (26)$$

Pro závislost difúzního koeficientu na teplotě užíváme obecný vztah [5]:

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{E_D}{R \cdot T}\right) \quad (27)$$

kde:

$D_0$  ...frekvenční faktor

$E_D$  ...aktivační energie difúze

Molekulární difúze: je charakterizována pohybem jednotlivých částic. Nejednodušší zákonitosti molekulární difúze popisují I. A II. Fickův zákon [5].

1. Fickův zákon podle [5]: Jsou li dvě místa od sebe vzdálená o  $dx$  a mezi nimi koncentrační rozdíl  $dc$ , je soustava v nerovnovážném stavu. Pro počet molů  $dn$ , difundující v časovém intervalu  $dt$  kolmo na plochu  $S$  lze odvodit vztah popisující stacionární difúzi, u které koncentrace nezávisí na čase:

$$\frac{dn}{dt} = -D \cdot S \cdot \frac{dc}{dx} \quad (28)$$

kde:

$D$  ...difúzní koeficient složky

Vztah pro hustotu difúzního toku což je množství látky jednotkovou plochou za časový interval:

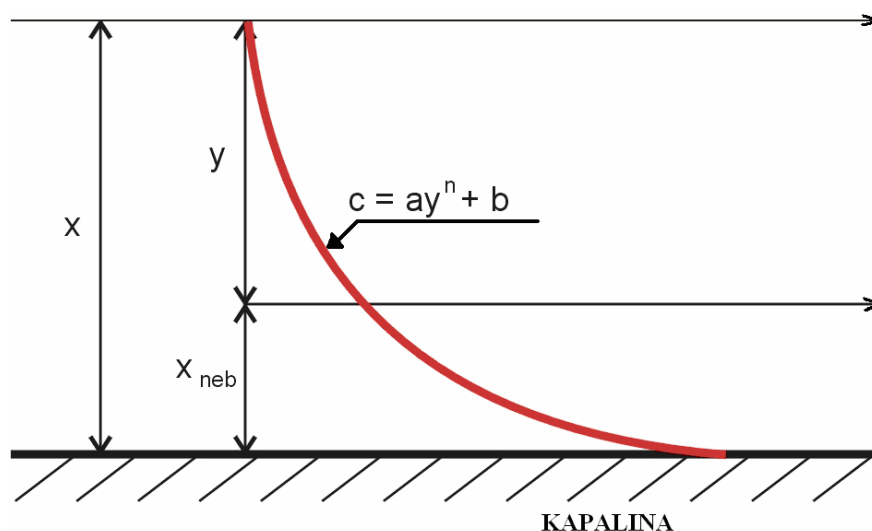
$$J = \frac{1}{S} \cdot \frac{dn}{d\tau} = -D \cdot \frac{dc}{dx} \quad (29)$$

2. Fickův zákon podle [5]: Tento zákon popisuje jednosměrnou difúzi nestacionární . tato difúze předpokládá závislost koncentrace na čase uváděnou vztahem:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D \frac{\partial c}{\partial x} \right) \quad (30)$$

### 2.7.2 Vypařování kapalin do nepohyblivého prostředí

Při vypařování hořlavé kapaliny do nepohyblivého prostředí se jedná o molekulární difúzi. Jde o pomalý děj, při kterém se vytváří místní výbušné koncentrace díky šíření par kapaliny. Děj naopak neumožňuje šíření par kapaliny na větší vzdálenosti. U tohoto děje je důležitý způsob rozdělení koncentrace par nad hladinou hořlavé kapaliny v závislosti na teplotě a na době vypařování, možné rozměry zóny s nebezpečnou koncentrací a množství vypařené kapaliny. Na obrázku 3 je znázorněna změna koncentrace par nad hladinou hořlavé kapaliny [1].



Obrázek 3 Vypařování do klidného prostředí dle [1]

Počátek souřadného systému x-y je ve vzdálenosti x od hladiny hořlavé kapaliny, platí, že ve vzdálenosti x je koncentrace par rovna nule. Na osu x jsou vyneseny koncentrace par hořlavé kapaliny. Na ose y jsou vzdálenosti od počátku souřadného systému. Hladina kapaliny je ve vzdálenosti  $x = y$  [1].

Podle [1] můžeme změnu koncentrace nad hladinou popsat závislostí:

$$c = a \cdot y^n + b \quad (31)$$

kde:

c ...koncentrace par v uvažovaném bodě nad hladinou hořlavé kapaliny v obj. %,

y ...vzdálenost uvažovaného bodu od počátku souřadného systému v m,

a,b ...konstanty.

Konstanty a,b určíme z okrajových podmínek. Při  $y = 0$  je  $c = c_o = 0$ , tedy  $b = 0$ .

Při  $y = x$  je  $c = c_s$ , tedy  $c_s = a \cdot x^n$ , neboli  $a = \frac{c_s}{x^n}$ .

Podle [1] získáme střední koncentraci par nad hladinou pomocí vztahu :

$$c_{STR} = \frac{c_s}{n+1} \quad (32)$$

Pomocí matematických úprav dle [1] lze dojít ke vztahu, jímž lze vypočítat vzdálenost, ve které je již koncentrace par kapaliny rovna nule (33) a koncentrace par ve vzdálenosti y v obj. % (34):

$$x = \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot n(n+1) \cdot \tau}{1 - c_s}} \quad (33)$$

$$c = c_s \left( y \cdot \sqrt{\frac{1 - C_s}{2 \cdot D \cdot n \cdot (n+1) \cdot \tau}} \right)^n \quad (34)$$

kde:

- x ...vzdálenost od povrchu kapaliny, kde je koncentrace par rovna nule,
- $\tau$  ...doba vypařování [hod],
- c ...koncentrace par ve vzdálenosti y od počátku souřadnicového systému,
- $c_s$  ...koncentrace nasycených par hoř. kapaliny při dané teplotě kapaliny v obj. %,
- D ...difúzní koeficient s opravou na teplotu směsi par se vzduchem v  $[m^2 \cdot s^{-1}]$ .

Nebezpečná výška nad hladinou, kde je koncentrace par hořlavé kapaliny vyšší než 0,5 LEL udává vztah [1]:

$$x_{NEB} = x - y = \sqrt{\frac{12 \cdot D \cdot \tau}{1 - c_s}} \left( 1 - \sqrt{\frac{0,5 \cdot c_{MIN}}{c_s}} \right) \quad (35)$$

Pro vypařené množství pak platí následující vzorec [1]:

$$m_{VYP} = \frac{c_s}{3} \rho \cdot S \cdot \sqrt{\frac{12 \cdot D \cdot \tau}{1 - c_s}} = 2 \cdot c_s \cdot \rho \cdot S \cdot \sqrt{\frac{D \cdot \tau}{3 \cdot (1 - c_s)}} \quad (36)$$

kde:

- $\rho$  ...hustota par  $[kg \cdot m^{-3}]$ ,
- S ...výparná plocha  $[m^2]$ ,
- Cmin ...dolní koncentrační mez [obj. %].

Empirický vztah pro výpočet intenzity vypařování do nepohyblivého prostředí dle [1]:

$$I_N = 1,155 \cdot \varphi_s \cdot \rho_t \cdot S \cdot \sqrt{\frac{D}{(1 - \varphi_s) \cdot \tau}} \quad (37)$$

kde:

- $I_N$  ...intenzita vypařování v  $[\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}]$ ,
- $\varphi_s$  ...objemové množství nasycených par při teplotě odpařování (bezrozměru),
- $\rho_t$  ...hustota par při teplotě odpařování v  $[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$ ,
- $\tau$  ...doba vypařování v  $[\text{s}]$ ,
- $S$  ...výparná plocha v  $[\text{m}^2]$ ,
- $D$  ...difúzní koeficient v  $[\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$ .

### 2.7.3 Vypařování kapalin do pohyblivého prostředí

Tento děj probíhá na rozdíl od molekulární difúze do nepohyblivého prostředí mnohem rychleji. Při konvektivní difúzi přechází hmota z jedné fáze do druhé pomocí molekulárního pohybu jako u molekulární difúze, ale také díky pohybu vzduchu a v důsledku intenzivnějšího sdílení tepla. Množství vypařované kapaliny se zvětšuje. Při konvektivní difúzi se nad povrchem kapaliny vytváří malá vrstvička s nasycenou koncentrací par a nad ní se prudce zmenšuje koncentrace par. Nastává prudká změna koncentrace par se vzdáleností od povrchu. Rychlost vypařování je přímo úměrná rozdílu koncentrací par a nepřímo úměrná odporu [1].

Empirický vztah pro intenzitu vypařování do proudícího vzduchu je uváděn dle [1]:

$$I_{POHYB} = S \cdot p_s \cdot M \cdot (0,734 + 1,637 \cdot w) \cdot 10^{-9} \quad (38)$$

kde:

- $I_{POHYB}$  ...intenzita vypařování do proudícího vzduchu v  $[\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}]$ ,
- $W$  ...rychlost pohybu vzduchu nad povrchem kapaliny v  $[\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$ ,
- $S$  ...plocha povrchu odpařované kapaliny v  $\text{m}^2$ ,
- $p_s$  ...tlak nasycených par odpařované kapaliny v  $[\text{Pa}]$ ,
- $M$  ...molární hmotnost v  $[\text{kg} \cdot \text{kmol}^{-1}]$ .



## 2.8 Inertizace

V uzavřených prostorech či zařízeních ve kterých se mohou vytvořit výbušné směsi a nelze vyloučit iniciační zdroje používáme inertizaci. Inertizace, jako jedna z forem primární protivýbuchové ochrany, spočívá v zajištění snížení nebo celkovému odstranění oxidačního prostředku z těchto prostor či zařízení. K tomuto účelu je používáno především inertních látek v plynném stavu, vodní páry, ale lze inertizovat i pomocí prachových inertů. Inertní prachy jsou používány zejména v hornictví.

### 2.8.1 Inertizace přidáním inertních plynů

Používáme inertní plyny, které nereagují s daným palivem nebo s kyslíkem. Některé látky mohou reagovat s vodní párou nebo oxidem uhličitým či dokonce s dusíkem. Tyto nechtěné reakce je potřeba pečlivě zvážit. Účinek inertních plynů spočívá v tom, že svou tepelnou kapacitou snižují rychlost šíření plamene a snižují koncentraci kyslíku ve směsi, respektive zředí výbušný systém a zmenší se tak koncentrace reagujících látek. Při přidání určitého množství inertního plynu již není systém schopen šířit plamen a jedná se o tzv. dusivý efekt [1, 4].

Při inertizaci nemusí být odstraněn veškerý kyslík, ale dochází jen k jeho zředění na hodnotu, která není nebezpečná. Rozhodujícím kritériem je LOC. Je to hlavní kritérium inertizačního účinku. Zpravidla lze vycházet z předpokladu, že nebezpečí výbuchu nehrozí při koncentracích kyslíku nižších než 5 % [4].

Jako inertizační prostředek se nejčastěji používá [1, 4]:

- **Dusík ( $N_2$ ):** Tento plyn je v praxi nejpoužívanější inert. Je to plyn bez zápachu a chuti. Jeho podíl v atmosféře tvoří 78 obj. %. Dusík je lehčí než vzduch a je to chemicky netečná látka za běžných podmínek. Přidáním dusíku do směsi se ve vzduchu bude zvyšovat poměr dusíku ke kyslíku a to způsobí rychlý pokles minimální iniciační energie a maximálních výbuchových parametrů. Při dosažení LOC směs nelze zapálit standardní energií 10 J. vyšší energie však tuto směs ještě iniciuje. Stoupající obsah dusíku vede k prudkému poklesu horní hranice výbušnosti. Dusík se hodí pro většinu případů inertizace s výjimkou určitých kovových prášků, pokud se v prostoru vyskytují silné iniciační zdroje. Dusík je skladován v tlakových lahvích o objemu 40 litrů. Nevýhoda spočívá v nižším množství přechovaného dusíku v jedné lahvi oproti oxidu uhličitým [1, 14].

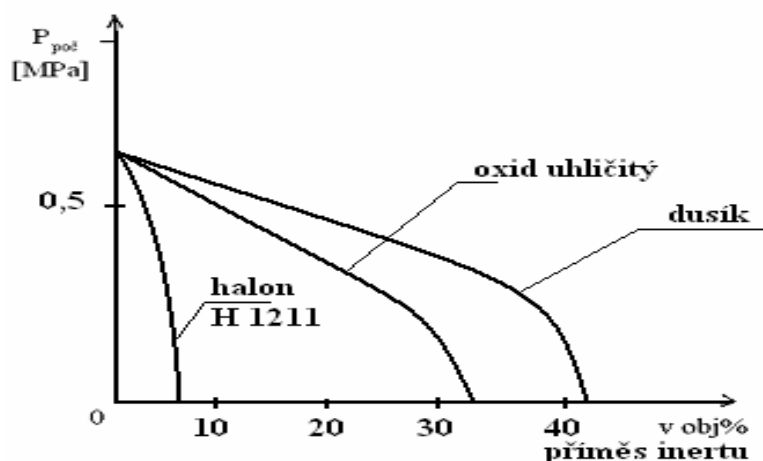
- **Oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>):** Oxidu uhličitý je bezbarvý, nehořlavý plyn, slabě nakyslého zápachu a chuti. V atmosféře je obsažen v 0,03 obj. %. Je to snadno zkapalnitelný plyn při 20 °C, tlakem 5,757 MPa. Ukládá se rovněž v tlakových nádobách jako dusík. Aplikací oxidu uhličitýho dosáhneme dusivého efektu. Efekt je účinnější v porovnání s dusíkem. Při jeho užití je třeba mít na zřeteli, že expanzí při tlaku > 0,6 MPa vznikají elektrostatické náboje. Oxid uhličitý se nesmí používat k inertizaci lehkých kovových prášků z důvodu obsahu kyslíku. Nevýhodou mohou být možné negativní účinky na organismus ve velkých koncentracích [1, 14].

- **Vzácné plyny:** Atmosférický vzduch jich obsahuje 1 obj. %. Tyto plyny lze použít pro každou inertizaci jsou ovšem drahé a proto je používáme jen pro zvláštní účely. Argon je jeden ze zástupce vzácných plynů používaných v hasící technice. Je to zcela netečný ochranný plyn [1, 14].

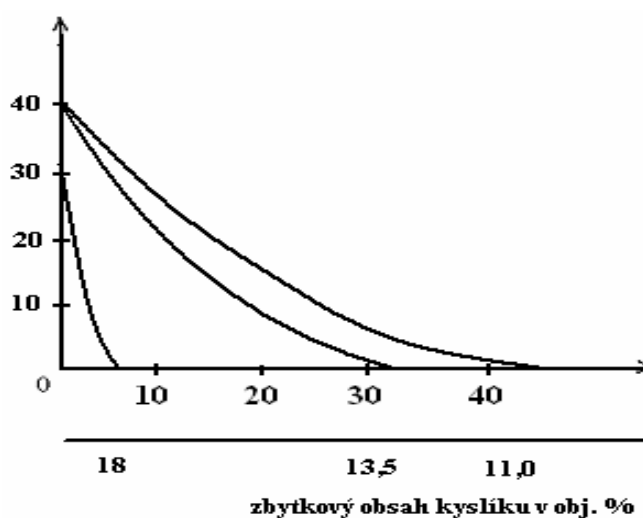
- **Spaliny:** Použití spalin jako inertizačního prostředku je velmi hospodárné, avšak musíme zajistit odstraňování prachu, vodních par, oxidu siřičitého a jiných složek [4].

- **Halogenované uhlovodíky:** Tato skupina má velmi vysokou inertizační schopnost. Inertizační efekt je dán chemickým dějem (antikatalytický účinek). Ředící a chladící efekt nemají až takový význam. Halony jsou organické látky podobné chlorofluorovaným uhlovodíkům. Obsahují uhlík, fluor, chlor, brom a mohou obsahovat i vodík v případě měkkých halonů. Za normálních podmínek jsou chemicky velmi stálé a netoxické nízkovroucí kapaliny nebo plyny. Pokud jsou kapalné, jejich hustota je asi 1,8–2,2 x vyšší než hustota vody. Plyny jsou jen mírně těžší než vzduch. Jsou velmi málo rozpustné ve vodě (maximálně stovky mg.l<sup>-1</sup>). Jedná se o látky připravené a využívané pouze člověkem [15].

Při inertizaci halonem se s klesajícím obsahem kyslíku mění symetricky obě hranice výbušnosti. Dolní hranice se zvyšuje a hranice snižuje, až při dosažení LOC se obě hranice ztotožní a rozsah výbušnosti se uzavře. LOC dosáhneme při optimálních koncentracích. Naopak u dusíku se výrazně mění tzn. klesá jen horní hranice, až se při dosažení LOC rozsah výbušnosti uzavře. U látek s dusivým efektem musíme tedy LOC hledat u dolní hranice výbušnosti. Srovnání účinku halonu a jiných inertních plynů znázorňuje graf 6 a 7 [1].



Graf 6 Účinek různých inertních plynů dle [1]



Graf 7 Účinek různých inertních plynů dle [1]

V důsledku vlivu na životní prostředí jejich používání jako inertizujících látek není rozšířeno.

## 2.8.2 Ovlivnění LOC

Maximální koncentrace kyslíku ve směsi hořlavé látky, ve vzduchu a inertního plynu, při které nemůže dojít při stanovených podmínkách k výbuchu neboli LOC je ovlivněno řadou faktorů. Základní vliv má samotný druh inertního plynu. Nejvyšší množství kyslíku závisí na jeho účinnosti. V případě směsi propadnu se vzduchem stoupá od 11 obj. % pro dusík, přes 13,5 obj. % u oxidu uhličitýho až po 18 obj. % při použití halonu [1].

S rostoucí teplotou se LOC snižuje. Tento pokles je lineární. Nárůst teploty o 100 °C proti pokojové teplotě tedy sníží LOC při inertizaci dusíkem o 1 obj.% [1].

S počátečním tlakem je LOC ovlivněno méně než v případě teploty. Podle 1 není vliv počátečního tlaku na LOC jednoznačný a doporučuje se pro konkrétní případy hořlavých látek zvolené inertní příměsi odzkoušet v autorizované zkušebně a stanovit pro daný pracovní tlak příslušné LOC [1].

### **2.8.3 Úplná inertizace**

U totální inertizace je poměr podílu inertního plynu k podílu hořlavé látky tak vysoký, že i po přimíchání libovolného množství vzduchu je směs nevýbušná. V praxi používáme jen u výbušné atmosféry hořlavých plynů a par hořlavých kapalin. Proces spočívá ve vyloučení výbušné směsi díky překročení poměru parciálního tlaku inertního plynu k parciálnímu tlaku hořlavé kapaliny [1].

### **2.8.4 Požadavky na realizaci inertizace**

Při procesu inertizace je důležité z hlediska bezpečnosti a správnosti její funkce zejména sledování skutečného množství kyslíku v chráněném prostoru či zařízení. Skutečná koncentrace musí být vždy nižší než nejvyšší přípustná koncentrace. Nevyšší přípustnou koncentraci je nutné zjistit experimentálně, tedy stanovení LOC s ohledem na možné kolísání koncentrace kyslíku. Měření kyslíku může být realizováno nepřetržitě, periodicky pomocí pravidelného vzorkování nebo postupně, kdy jeden kyslíkoměr odebírá vzorky ze zařízení postupně za sebou.[1].

Při zavádění plynného inertu do uzavřeného prostoru je nutné také uvažovat nárůst objemu a z toho vyplývající možné zvýšení tlaku. Nebezpečí vznikají při napojení tlakových lahví o vysokém tlaku 10 nebo 20 MPa. Je třeba vyloučit vnikání vzduchu do systému. V případě plynů je nejvíce možné zejména v průběhu připojování a odpojování dodávky plynu [1, 16].

Při použití plynové inertizace je nutné zabezpečit, aby obsluha byla chráněna před výronem inertního plynu. Je nutná kontrola pracovního prostředí. Vhodné je také možné vybavení obsluhy osobními dozimetry obsahu kyslíku [16].

Norma ČSN 38 9683: Návod na inertizaci jako prevenci proti výbuchu rozlišuje dvě základní kritéria pro přidávání inertního plynu, aby byl zajištěn inertizovaný stav systému:

- 1) V případě provozních podmínek dochází-li k vypouštění jakéhokoliv produktu ze systému. Objem tohoto produktu musí být nahrazen inertním plynem s rychlostí odpovídající nejméně rychlosti vypouštění.

- 2) Druhé kritérium se nevztahuje k pracovním podmínkám, ale atmosférickému dýchání systému v důsledku atmosférických změn teploty nebo tlaku. V případě poklesu tlaku pod atmosférický tlak má být tento rozdíl kompenzován přidáním inertního plynu.

### 2.8.5 Metody inertizace

Norma ČSN 38 9683 uvádí následující uznávané metody inertizace:

- 1) Inertizace tlakováním: Princip této metody spočívá v zvyšování tlaku v systému pomocí inertního plynu. Následně dojde k uvolnění na atmosférický tlak. Cykly se opakují do doby dosažení požadované koncentrace kyslíku. Metoda je vhodná jen pro systémy u kterých je možné zvyšovat tlak.
- 2) Inertizace vakuováním: U této metody naopak tlak snižujeme a vakuum se uvolňuje doplněním inertního plynu. Vhodná je zejména u systémů, které udrží vakuum např. skleněné nádoby.
- 3) Inertizace proplachováním: Je založeno na přivádění inertního plynu z jednoho místa přičemž ve vzdáleném místě tento plyn prostor opět opouští. Vhodné pro systémy, které nevydrží přetlak ani podtlak.
- 4) Inertizace vytlačováním: Tato metoda je založena na velkém rozdílu mezi hustotou inertního plynu a nahrazovaného vzduchu. Je obvykle vhodná pouze pro speciální situace, kde jsou velké rozdíly hustoty a předpokládá se špatné míchání.

### 2.8.6 Příklady použití inertizace v praxi

Inertizace s použitím čistého dusíku jako inertního plynu se v České republice pro důlní účely úspěšně používá již od roku 1949. V hornictví České republiky je čistý dusík využit pro hašení důlních požárů. Později se začal používat i ve Velké Británii, Slovensku, Rusku, Německu, Francii, Polsku, Rumunsku, Číně, Kanadě, Bulharsku, Indii, Austrálii a v dalších zemích s vyspělým uhelným hornictvím. V roce 1988 pokračoval rozvoj využití inertizace dusíkem. Došlo k výstavbě stacionárních odpařovacích stanic na důlních podnicích vybavených zásobníky kapalného dusíku o objemu 15 až 20 m<sup>3</sup> pro účely inertizace a zvládání důlních požárů. I přes celkový pokles těžby uhlí v České republice nedošlo k celkovému snížení roční spotřeby dusíku v hornictví České republiky. Spotřeba dusíku v Ostravsko-karvinském revíru narůstá. V roce 2008 spotřeba dosáhla hodnoty 95,47 mil.m<sup>3</sup> [17].

Podle zdroje [18] Jižní Afrika, jakožto sedmý největší producent uhlí v roce 2008, 13. března 2010 představila nový systém inertizace důlních požárů. Jedná se o první zcela mobilní důlní inertizační systém vybaven dusíkovým generátorem. Tento generátor extrahuje inertní plyn dusík ze vzduchu pomocí propustného dutého vlákna membrány. Tato membrána byla zvolena jako klíčový prvek nového systému. Je připojena a poháněna dieslovým elektrogenerátorem. Výstup je dimenzován na dodávání  $1800 \text{ Nm}^3/\text{hr}$  dusíku.

Dále se na důlní, tunelovou inertizaci v případě požárů v oblasti autodopravy zaměřuje stroj Steamexfire 2500. Uveden na obrázku 4. Je to jeden z největších generátorů inertního plynu pro hašení požárů. Je vhodný i pro inertizaci zásobníků, sil a tankerů. Systém je velmi účinný zvláště u inertizace tunelových požárů, které jsou velice nebezpečné a náročné k hašení z hlediska enormního tepla a produkce kouře. Výstup inertního plynu je dimenzován na  $18\text{-}30 \text{ m}^3/\text{s}$  [19].



**Obrázek 4** Použití Steamfire 2500 při inertizaci tunelu dle [19]

### 3 Stanovení vlivu inertních příměsí na teplotní meze výbušnosti

V praktické části mé diplomové práce řeším vliv příměsí inertního plynu a jak tento inertní plyn ovlivní teplotní meze výbušnosti vybrané hořlavé kapaliny. Pro své experimentální měření jsem si vybral jako zástupce inertního plynu dusík. Faktory pro výběr dusíku byly zejména jeho nejrozšířenější zastoupení v praxi, jeho snadná dostupnost, cena a fakt, že se hodí pro většinu případů inertizace. Hořlavou kapalinu jsem volil s přihlédnutím k bezpečnostním listům. Rozhodující údaj pro výběr kapaliny byla teplota vzplanutí a třída nebezpečnosti II. nebo III. Pro měření jsem si zvolil motorovou naftu s příměsí 5% metylesteru řepkového oleje (dále jen MEŘO). Vliv inertních příměsí na teplotní meze výbušnosti byl stanovován na výbuchovém zařízení VK-20. Zařízení je umístěno v areálu Fakulty bezpečnostního inženýrství v Ostravě – Vyškovicích.

#### 3.1 Popis přístroje VK-20

Výbuchového zařízení VK – 20 primárně slouží pro stanovení koncentračních a teplotních mezí výbušností hořlavých kapalin. Díky jeho konstrukci a možnosti využití dalších přídatných zařízení je však velmi universální. Lze pomocí něho stanovit i vliv inertních příměsí. Tuto schopnost jsem využil pro mé měření.

VK - 20 odpovídá požadavkům na kubickou nádobu. Kubická nádoba má délku l menší nebo rovnu dvěma průměrům d. Pro kubické nádoby platí Kubický zákon dle [1]:

$$\left(\frac{dp}{dt}\right)_{\max} \cdot V^{\frac{1}{3}} = konst. = K_G \text{ respektive } K_{St} \quad (39)$$

kde:

$(dp/dt)_{\max}$  ...maximální rychlost narůstání výbuchového tlaku v  $\text{MPa.s}^{-1}$ ,

$V$  ...objem nádoby v  $\text{m}^3$ ,

$K_G, K_{St}$  ...kubická konstanta pro plyny, resp. pro prachy v  $\text{MPa.m.s}^{-1}$ .

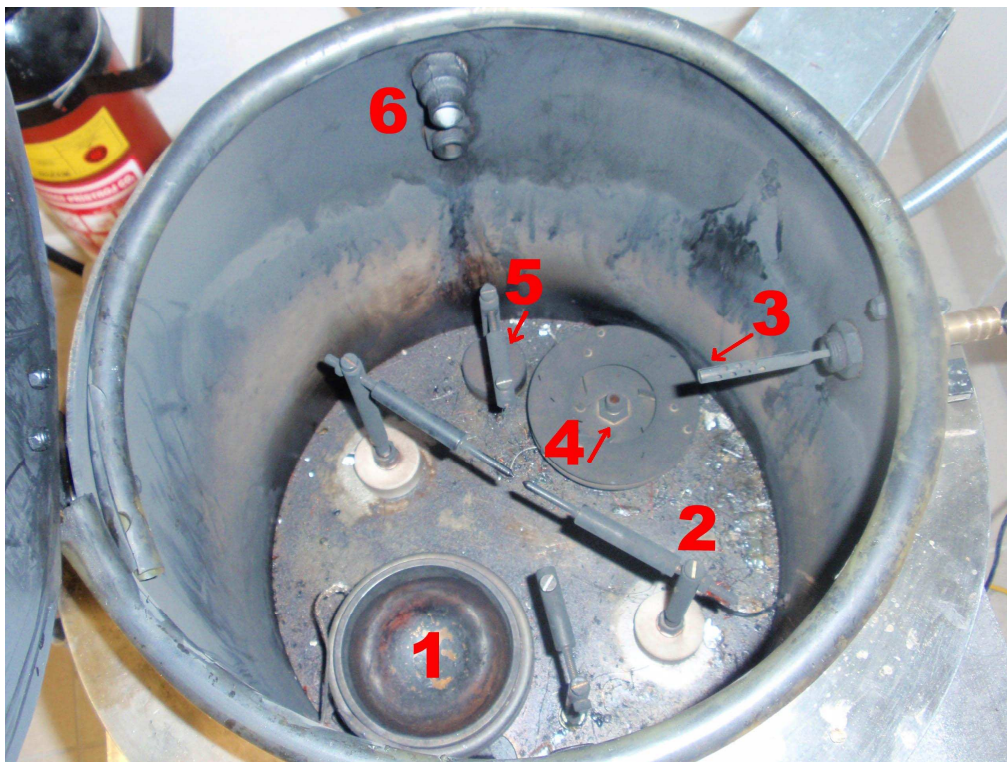
Zařízení VK-20 je umístěno v chráněném prostoru připomínající skříň. Její stěny jsou ze dvou stran tvořeny zdí místnosti. Další dvě strany tvoří skleněné uzavíratelné dveře, které mají chránit osoby před výbuchem v zařízení a současně dovolovat optickou kontrolu měření.

Samotné zařízení VK-20 se skládá ze dvou částí. První část je výbuchová komora ve které probíhá měření teplotních mezi výbušnosti a v mém případě i inertizace. Druhou část tvoří čtvercový podstavec výbuchové komory. Podstavec je tvořen z ocelové nerezové desky o hraně 50 cm, která je postavena na čtyřech nohách o výšce 700 mm. K tomuto podstavci je připevněna výbuchová komora pomocí čtyřech šroubů.

Výbuchová komora je tvořena dvěma válci z nerezové oceli o tloušťce 2 mm. Vnitřní válec má průměr 300 mm a výšku cca 280 mm. Kolem vnitřního válce se nachází válec vnější o průměru 400 mm a výšce 180 mm. Vnější válec kryje vnější topnou spirálu, která slouží k ohřevu celé komory. Tyto dva válce nám dávají výsledný tvar nádoby, která má průměr 300 mm a objem 20 l. Do komory respektive vnitřního válce vede 5 otvorů, které jsou osazeny 3/8 ventily. Pomocí ventilů umístíme potřebná čidla pro měření a přívod inertního plynu pro inertizaci (v našem případě dusíkem). Na dně výbuchové komory se nachází ventilátor, poháněný motorkem, který slouží k promíchávání vzduchu a par hořlavé kapaliny v komoře. Ze spodu komory jsou vedeny také dvě elektrody do kterých umístíme iniciační zdroj pro odpálení směsi v komoře (elektrický palník nebo drátek) a další dvě vysokonapěťové elektrody pro iniciaci elektrickou jiskrou. Uvnitř komory je umístěna kovová miska, o průměru cca 8 cm, pro ukládání zkoušené hořlavé kapaliny. Miska je zahřívána vnitřní topnou spirálou tím dochází samozřejmě i k požadovanému ohřevu hořlavé kapaliny pro rychlejší odpařování. Vnitřní topná spirála je i spolu s vnější napájena ze sítě přes regulátor napětí.

Horní okraj komory je potažen silikonovou bužírkou pro ztlumení nárazu příklopným víkem. Toto příklopné víko je součástí výbuchové komory a v případě měření je drženo pomocí elektromagnetu k nadstavci připevněném k základně komory. Víko plní funkci zhášení případného dohořívání hořlavé kapaliny po provedené zkoušce. Obsluha opticky vyhodnotí stav a v případě nežádoucího hoření vypne elektromagnet spínačem a víko dosedne na okraj výbuchové komory. Jedna z funkcí víka je také zabránění tepelných ztrát horní částí při zahřívání dané hořlavé kapaliny. Toto se projeví zejména při zahřívání hořlavé kapaliny na vyšší teploty. V mém případě na teploty okolo 230 °C. Vyfocené zařízení i vnitřek výbuchové komory vidíme na obrázku 5.





**Obrázek 5 Pohled do výbuchové komory VK-20**

kde:

- 1 – místo pro uložení misky se zkoušenou kapalinou,
- 2 – vysokonapěťové elektrody pro iniciaci elektrickou jiskrou,
- 3 – zavedené teplotní čidlo GTL 130,
- 4 – ventilátor,
- 5 – elektrody pro umístění elektrického palníku nebo drátku,
- 6 – ventil přívodu dusíku.

## 3.2 Regulační zařízení

Regulační zařízení slouží k nastavení teploty vnější a vnitřní spirály. Byl použit teplotní a procesní regulátor – OMEGA série i8. Vypnutí a zapnutí spirály se provádí pomocí červeného vypínače vpravo. Pomocí tlačítek umístěných pod displejem můžeme nastavit teplotu ohřevu. Zařízení má přesnost  $0.5^{\circ}\text{C}$ ,  $0.03\%$  měřené hodnoty rozsah: 0,001 až 9999, napájeno je 90 až 240 V. Ke spouštění ventilátoru a regulace jeho otáček byl použit na zakázku vyrobený panel.



Obrázek 6 Teplotní regulátory



Obrázek 7 Ovládací panel ventilátoru

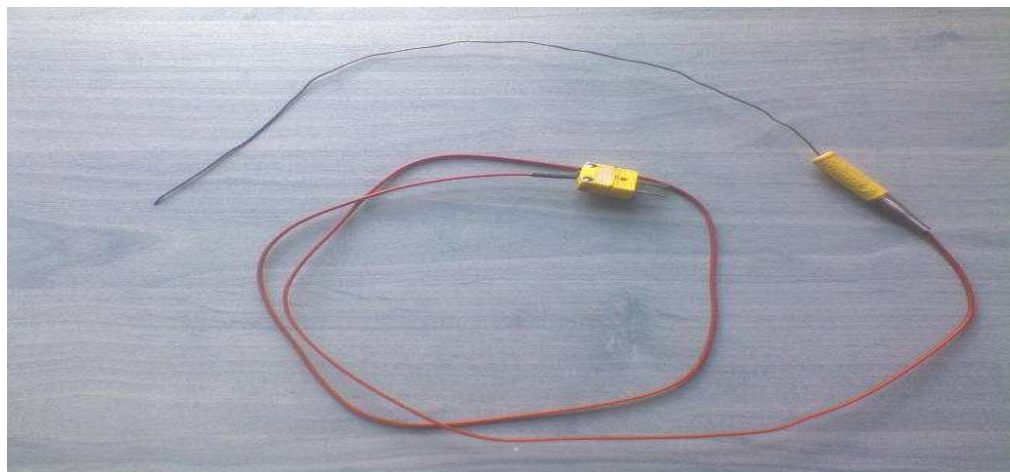
### 3.3 Měřící čidla

#### GTL 130

Je to prostorová sonda pro vzduch a plyny. Použil jsem ji pro stanovování teploty prostředí, ve výbuchové komoře VK – 20, během ohřevu. Čidlo je připojeno silikonovým kabelem a konektorem NST1200. Měřicí rozsah je  $-65^{\circ}\text{C}$  až  $+600^{\circ}\text{C}$  [20].

#### GTF 1200

Jedná se o ponorný snímač vysoké teploty. Byl použit pro měření teploty kapaliny ve výbuchové komoře VK-20. Jeho měřicí rozsah je  $-200$  až  $1150^{\circ}\text{C}$ ,  $\varnothing$  1,5 mm, L = 150 mm. Připojen silikonovým kabelem a konektorem NST1200 [20].



Obrázek 8 Ponorné teplotní čidlo GTF 1200

#### Digitální přenosný teploměr GMH 3250

K tomuto digitálnímu teploměru byly připojeny čidla GTL 130 a GTF 1200. Pomocí něho byla zaznamenávána teplota jak prostředí tak teplota zahřívané hořlavé kapaliny současně. Jeho technické parametry jsou: Rozsah  $-199,9^{\circ}\text{C}$  až  $+1750,0^{\circ}\text{C}$ , pracovní teplota je od  $-20^{\circ}\text{C}$  až  $+50^{\circ}\text{C}$ . Umožňuje připojení čidla typu J, K, N, S, T; T1. Umožňuje optický a akustický poplach při překročení mezních hodnot. Teploměr je napájen 9V baterií nebo externě ze sítě napětím 10,5 až 12V. Pro zpracování a vyhodnocení dat z teploměru je určen software GSOF3050 [21].





Obrázek 9 Digitální přenosný teploměr GMH 3250

### Kompaktní oxymetr GOX 100

Tento oxymetr spolu s čidlem GOEL 369 firmy Greisinger electronic slouží pro měření koncentrace kyslíku ve vzduchu. Byl použit pro stanovování koncentrace  $O_2$  při inertizování ve výbuchové komoře VK-20. Měřicí rozsah je 0,0 až 100%  $O_2$ . Přesnost 0,1%  $O_2$ . Měřicí senzor je připojen kabelem dlouhým 0,7 m. Senzor parciálního tlaku kyslíku je zabudovaný v externím pouzdře. Provozní tlak je 0,5 až 2,0 bar. Přístroj je napájen baterií 9V, typ IEC 6F22. Provozní teplota přístroje je  $-20^{\circ}\text{C}$  až  $70^{\circ}\text{C}$  a senzoru  $-15^{\circ}\text{C}$  až  $60^{\circ}\text{C}$  [22].



Obrázek 10 Kompaktní oxymetr GOX 100

### 3.4 Zařízení pro tvorbu elektrické jiskry (Ignition system HV-2009)

Tento zdroj, který je vyfocen na obrázku 11. byl vyroben na zakázku firmou idLAB. Sloužil jako zdroj elektrické jiskry, kterou jsem inicioval směs ve výbuchové komoře VK-20. Inicioval jsem energií 10J při nastaveném čase 0,2 s. Vstupní napětí je 230 V / 50 Hz, příkon 400VA max, pojistky 2x T3A.



Obrázek 11 Zdroj iniciace elektrickou jiskrou od firmy idLAB

### 3.5 Program GSOF T 3050

Pomocí tohoto softwaru byly zaznamenávány, ukládány a zpracovávány naměřená data z digitálního teploměru GMH 3250. Data jsou načítána přes sériové rozhraní PC 'COM 1' - 'COM 255' pomocí konvertoru rozhraní. Uložená data lze zobrazit ve formě grafu. Funkce grafického zobrazení umožňuje zobrazit několik řad měření v jednom grafu. Grafické zobrazení poskytuje funkce zobrazení s reálnou časovou osou, zoom, náhledy ovládání legendy grafu a zvýraznění měřících bodů přidávání nebo odebírání řad naměřených dat. Software pracuje pod Windows 95, 98, Me, NT, 2000, XP a Vista.

### 3.6 Metodika měření

Pro cíl mé diplomové práce tedy stanovení vlivu inertních příměsí na teplotní meze výbušnosti bylo nejprve zapotřebí tyto teplotní meze pro vybranou hořlavou kapalinu stanovit měřením. Zjištěné meze pak posloužily jako ukazatel a udávaly rozsah mého pozdějšího měření vlivu inertního plynu právě na tyto teplotní meze výbušnosti.

Před samotným stanovením teplotních mezí výbušnosti hořlavé kapaliny a vlivu inertního plynu bylo nejprve zapotřebí provést přípravné práce na stroji VK-20. Tyto práce spočívaly v zavedení teplotních čidel GTF 1200 a GTL 130 pomocí ventilů do výbuchové komory. Následovně se tyto čidla propojila s digitálním teploměrem GMH 3250. GMH 3250 byl pak propojen s osobním počítačem tak, aby program GSOF 3050 registroval a mohl dále zpracovávat hodnoty měření.

V případě stanovování vlivu inertního plynu na teplotní meze výbušnosti došlo ještě k připojení tlakové láhve s dusíkem k výbuchové komoře pomocí pryžové hadice přes jeden ze zbývajících ventilů.

#### 3.6.1 Popis stanovení teplotních mezí výbušnosti na VK-20

Nejprve jsem zkoušenou kapalinu, motorovou naftu s příměsí 5 % metylesteru řepkového oleje (dále jen MEŘO) odlil z připraveného kanystru do misky. Důležité bylo odlít dostatečné množství kapaliny, aby došlo k vytvoření výbušné koncentrace ve VK-20 (předčasné celkové vypaření kapaliny bylo bráno jako nežádoucí). Další důvod dostatečného množství zkoušené kapaliny byl fakt, že čidlo GTF 1200 pro měření teploty kapaliny muselo být během celé zkoušky ponořeno v kapalině. Misku jsem tedy plnil na  $\frac{1}{2}$  jejího objemu, což bylo pro mé měření dostatečné. Misku s kapalinou jsem poté umístil do úložného prostoru, ve výbuchové komoře přístroje VK-20, které je vytápěno vnitřní spirálou. Ponořil jsem čidlo GTF 1200 do zkoušené kapaliny. Následovalo překrytí připravené výbuchové komory hliníkovou fólií (používal jsem běžnou alu-fólii pro kuchyňské využití), která byla k vrchnímu okraji výbuchové komory utažena drátem. Toto překrytí sloužilo pro vytvoření prostoru, kde vznikala výbušná koncentrace a sloužila také jako odlehčovací membrána.

V případě stanovení horní teplotní meze výbušnosti jsem ještě přiklopil víko z důvodu zajištění proti tepelným ztrátám vrchem komory.

Po těchto činnostech jsem uzavřel dveře bezpečnostní skříně ve které je zařízení VK - 20 umístěno. Důležité bylo správné uzavření dveří. Při špatném dovření nebyla možná pozdější iniciace elektrickou jiskrou.

Takto připravené zařízení VK-20 jsem začal zahřívat pomocí vnitřní a vnější spirály. Pomocí regulačního zařízení jsem nastavoval teploty na těchto spirálách podle potřeby. Na digitálním teploměru jsem pak sledoval skutečnou teplotu v komoře a teplotu zkoušené hořlavé kapaliny. Teplota prostředí ve výbuchové komoře a hořlavé kapaliny musela stoupat pozvolna. Nesmělo dojít k příliš rychlému ohřevu hořlavé kapaliny. Kvůli tomuto faktu jsem musel nastavovat a vypínat spirály s jistým předstihem. Během zahřívání jsem také používal míchadlo pro promíchání směsi uvnitř komory. Po dosažení požadované teploty jsem vyčkal přibližně 5 minut, aby bylo zajištěno vytvoření výbušné koncentrace a ustálily se teploty na digitálním teploměru. Zapnul jsem nahrávací funkci programu GSOF3500. Poté jsem pomocí elektrické jiskry takto vytvořenou směs inicioval. Po iniciaci jsem sledoval, zda u směsi při dané teplotě došlo k reakci (došlo k výbuchu) nebo směs nereagovala a vypnul jsem nahrávání programu.

V případě dohořívání zbytků po výbuchu ve výbuchové komoře jsem vypnul elektromagnet, který držel víko. To dosedlo na okraj výbuchové komory a uhasilo tak plameny. Po každém měření jsem zbytek hořlavé kapaliny z misky vylil do připraveného kanystru na odpad. Misku jsem zchladil vodou a vyčistil. Rovněž bylo nutné výbuchovou komoru vyvětrat.

Při novém měření jsem teplotu buď snížil, nebo zvýšil (postupoval jsem po 10°C a 5°C) až do té doby, než byla nalezena poslední teplota, při které směs ještě reagovala. Zkoušku jsem opakoval třikrát. Výsledná hodnota teplotních mezí výbušnosti je brána jako aritmetický průměr těchto tří posledních teplot.

### **3.6.2 Popis měření vlivu dusíku na teplotní meze výbušnosti**

Podle stanovené hodnoty dolní a horní teplotní meze výbušnosti motorové nafty s příměsí 5 % MEŘO jsem začal měřit vliv příměsí dusíku. Hodnoty dolní a horní teplotní meze výbušnosti sloužily jako rozmezí ve kterém jsem toto měření prováděl. Rozhodl jsem se postupovat po 10°C od dolní teplotní meze k horní.

Základní postup samotné zkoušky byl totožný se stanovením teplotních mezí výbušnosti hořlavé kapaliny. Změna nastala až po překrytí hliníkovou fólií, kdy jsem napustil dusík přes pryžovou hadici z tlakové láhve do výbuchové komory. Napouštění dusíku

probíhalo pootevřením ventilu na výbuchové komoře. Hodnotu koncentrace kyslíku jsem zjišťoval pomocí oxymetru GOX 100, který jsem vsunul přes protilehlý, otevřený ventil. Dusík jsem napouštěl velmi pomalu, abych docílil správné koncentrace kyslíku respektive dusíku ve výbuchové komoře a nepřekročil potřebnou hodnotu. Po dosažení požadované hodnoty kyslíku jsem oba tyto ventily uzavřel a přistoupil k další části měření. Přípravenou Výbuchovou komoru vidíme na obrázku.

Stejně jako u stanovování teplotních mezí jsem pozvolna zahříval prostředí výbuchové komory a hořlavou kapalinu na určitou teplotu pomocí topných spirál. Po dosažení požadované teploty jsem opět nechal teploty ustálit a po 5 minách jsem směs, tentokrát i s příměsí dusíku, inicioval. Podle reakce směsi při této teplotě jsem postupoval následovně. Došlo-li k reakci (směs vybuchla) snížil jsem při následné zkoušce koncentraci kyslíku o 1 %. Nedošlo-li k reakci naopak jsem koncentraci kyslíku zvýšil o 1 %. Měření jsem opakoval (pro teploty po 10°C od dolní teplotní meze do překročení horní teplotní meze) do té doby, než byla nalezena poslední koncentrace kyslíku, při které směs ještě vybuchovala. Zkoušku jsem opakoval třikrát. Za teplotní mez výbušnosti se považuje aritmetický průměr těchto tří hodnot.

Při tomto měření bylo nutné také čistit, větrat a měnit zkoušenou hořlavou kapalinu v misce.

Během obou typů zkoušek se ukázalo jako komplikace zejména upevňování alu folie přes vysoce zahřátou výbuchovou komoru. Fólie se také často trhala zejména v místě, kde bylo připevněno sklápěcí víko.



## 4 Naměřené hodnoty a jejich zpracování

Měření jsem prováděl podle popsané metodiky měření v kapitole 3.6. Výsledky mého měření jsou závislé na zvolené metodě a výbuchovém zařízení VK-20 v němž byl pokus prováděn, proto se mohou od případných jiných výsledků lišit. Pro své měření jsem si vybral motorovou naftu s příměsí 5 % MEŘO. Tato vybraná kapalina je zástupcem kapalin III. třídy nebezpečnosti.

### 4.1 Motorová nafta s příměsí 5 % MEŘO

Motorová nafta je směs kapalných uhlovodíků. Získává se destilací a rafinací z ropy. Je jedním z nedůležitějších motorových paliv. Využíváme ji jako palivo pro vznětové motory. Jedná se o čirou kapalinu nažloutlé barvy s charakteristickým zápachem pro motorovou naftu. Do nafty můžeme přidávat aditiva na zlepšení užitečných vlastností. Velmi diskutované přísady posledních let byly MEŘO a sním pojem bionafta. MEŘO se používá jako základní a stěžejní složka bionafty. V současné době jsou MEŘO jako součást běžné motorové nafty buď v množství do 5 % dále jako směsná motorová nafta nebo přímo jako čisté MEŘO pro pohon.

Tato motorová nafta s 5% MEŘO má hustotu (při 15 °C), 820 až 845 kg/m<sup>3</sup>, Rozmezí bodu varu je 180 až 370 °C, bod hoření je nad 80 °C, teplota vznícení nad 250 °C. Bezpečnostní list udává její teplotu vzplanutí nad 55 °C. Podle této teploty jsem začal stanovovat dolní teplotní mez výbušnosti. Další charakteristiky a popis najdeme v příloze č. 3.

#### 4.1.1 Dolní teplotní mez výbušnosti motorové nafty s příměsí 5% MEŘO

Hodnoty zjištěné měřením jsou uvedeny v tabulce 8.

Tabulka 8 Zjišťování dolní teplotní meze výbušnosti motorové nafty s příměsí 5 % MEŘO

Číslo měření	Teplota kapaliny [°C]	Výbuch Ano / Ne
1	60	Ne
2	70	Ne
3	80	Ne
4	90	Ne
5	100	Ne
6	110	Ne
7	120	Ne
8	130	Ano

9	125	Ano
10	123	Ne
11	124	Ano
12	127	Ano

Průměrnou dolní teplotní mez výbušnosti motorové nafty s příměsí 5% MEŘO pak získáme pomocí aritmetického průměru hodnot z tabulky 9.

**Tabulka 9 Naměřené hodnoty dolní teplotní meze výbušnosti motorové nafty s příměsí 5 % MEŘO**

Číslo měření	Teplota kapaliny [°C]
1	125
2	124
3	127

Aritmetický průměr vypočteme podle vzorce:

$$t_{d,výb} = \frac{\sum t_i}{n} \quad (40)$$

kde:

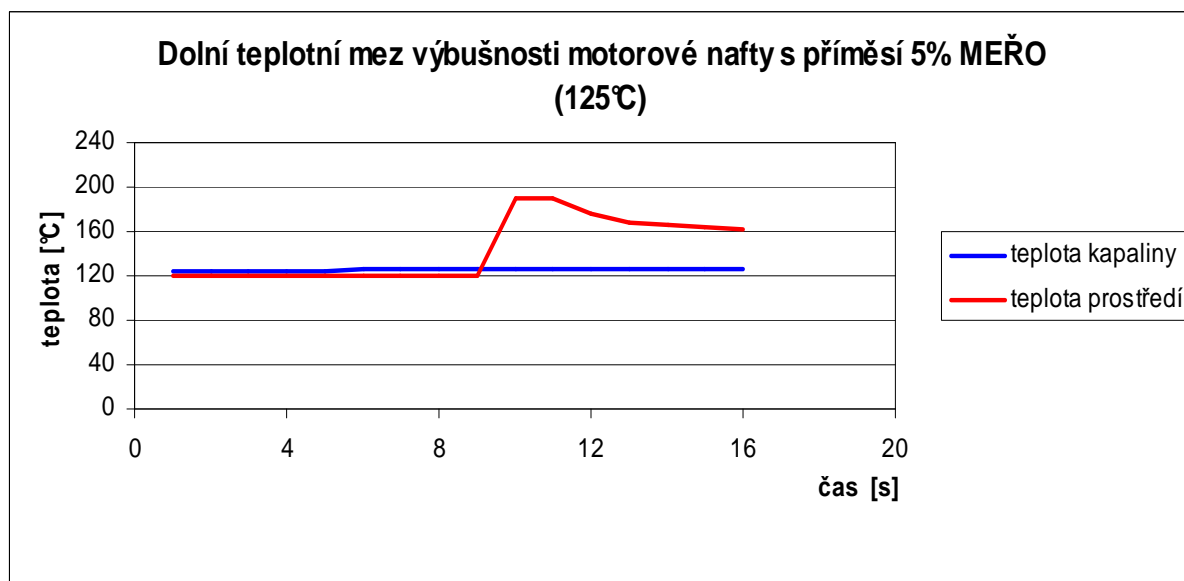
$t_{d,výb}$  ...průměrná dolní teplotní mez výbušnosti,

$n$  ...počet měření,

$t_i = t_1 + t_2 + t_3$ ,

$$t_{d,výb} = \frac{\sum t_i}{n} = \frac{\sum 376}{3} = 125,33 \text{ °C.}$$

Průměrná dolní teplotní hranice výbušnosti motorové nafty s příměsí 5% MEŘO je tedy 125,33 °C. Na grafu 8 je vidět průběh výbuchu při dané teplotě kapaliny. Vidíme zde také nárůst teploty prostředí ve výbuchové komoře.



**Graf 8** Průběh výbuchu ve VK-20: Dolní teplotní mez výbušnosti motorové nafty s příměsí 5% MEŘO při teplotě 125 °C

#### 4.1.2 Horní teplotní mez výbušnosti motorové nafty s příměsí 5% MEŘO

Postupoval jsem od nižších teplot k vyšším z důvodu zahřívání výbuchové komory. Hodnoty zjištěné měření jsou uvedeny v tabulce 10.

**Tabulka 10** Zjišťování horní teplotní meze výbušnosti motorové nafty s příměsí 5 % MEŘO

Číslo měření	Teplota kapaliny [°C]	Výbuch Ano / Ne
1	130	Ano
2	140	Ano
3	150	Ano
4	160	Ano
5	170	Ano
6	180	Ano
7	190	Ano
8	200	Ne
9	193	Ano
10	195	Ano
11	198	Ano

Průměrnou dolní teplotní mez výbušnosti motorové nafty s příměsí 5% MEŘO pak získáme pomocí aritmetického průměru hodnot z tabulky 11.

**Tabulka 11 Naměřené hodnoty horní teplotní meze výbušnosti motorové nafty s příměsí 5 % MEŘO**

Číslo měření	Teplota kapaliny [°C]
1	193
2	195
3	198

Aritmetický průměr vypočteme podle vzorce:

$$t_{h,výb} = \frac{\sum t_i}{n} \quad (41)$$

kde:

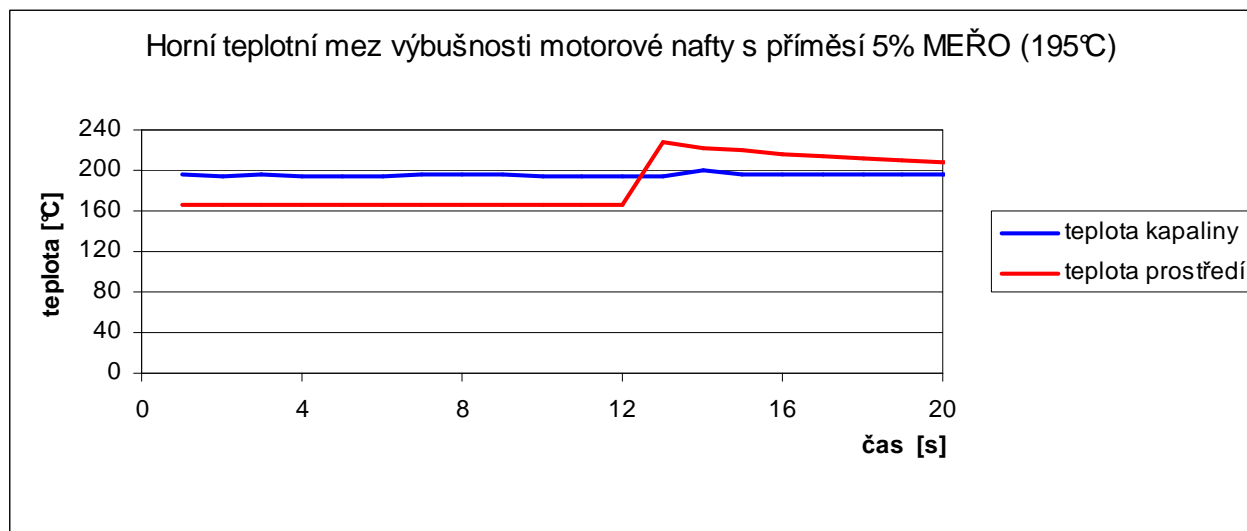
$t_{h,výb}$  ...průměrná horní teplotní mez výbušnosti,

$n$  ...počet měření,

$t_i = t_1 + t_2 + t_3$ ,

$$t_{d,výb} = \frac{\sum t_i}{n} = \frac{\sum 586}{3} = 195,33 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Průměrná horní teplotní mez výbušnosti motorové nafty s příměsí 5% MEŘO je tedy 195,33 °C. Na grafu 9 je vidět průběh výbuchu při teplotě 198 °C kapaliny. Vidíme zde také nárůst teploty prostředí ve výbuchové komoře.



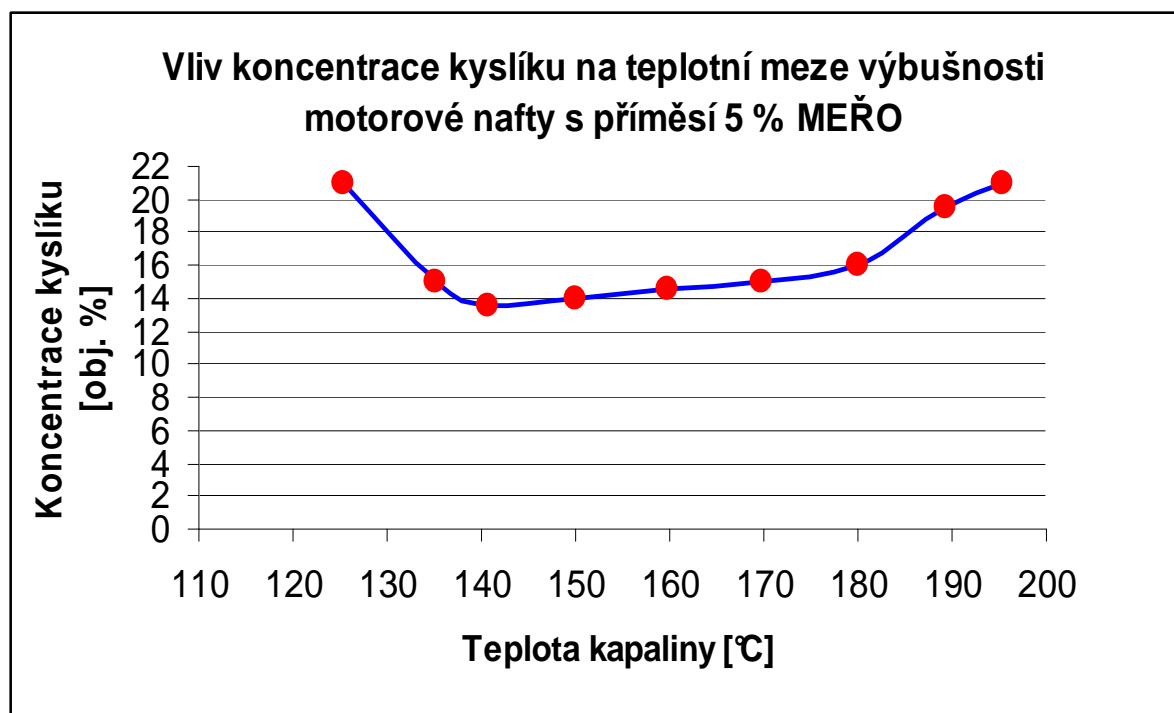
**Graf 9 Průběh výbuchu ve VK-20: Horní teplotní mez výbušnosti motorové nafty s příměsí 5% MEŘO při teplotě 195 °C**

#### 4.1.3 Inertizace teplotních mezí výbušnosti motorové nafty s příměsí 5% MEŘO

Po stanovení teplotních mezí výbušnosti jsem začal v rozmezí těchto mezí inertizovat pomocí dusíku. Záznam naměřených hodnot jsou uvedeny v příloze č. 1 a v tabulce 12. Tyto hodnoty jsou pak vyneseny do grafu 10 na kterém můžeme vidět vliv inertizace dusíkem.

Tabulka 12 Průměrné hodnoty vlivu dusíku na teplotní meze výbušnosti motorové nafty s příměsí 5% MEŘO

Teplota kapaliny [°C]	Koncentrace O <sub>2</sub> [obj. %.]	Koncentrace N <sub>2</sub> [obj. %]
125,33	Dolní teplotní mez výbušnosti 21% O <sub>2</sub>	
135	15	84
140,66	13,5	85,5
150	14	85
159,66	14,5	84,5
169,66	15	84
180	16	83
189,33	19,5	79,5
195,33	Horní teplotní mez výbušnosti 21% O <sub>2</sub>	



Graf 10 Vliv koncentrace kyslíku na teplotní meze výbušnosti motorové nafty s příměsí 5% MEŘO

Z grafu 10 je vidět, že vliv inertizace dusíkem se zpočátku projevoval nepatrně u dolní teplotní meze výbušnosti, kde je nedostatek hořlaviny a přebytek kyslíku. Směrem k horní teplotní mezi výbušnosti, u které je nedostatek kyslíku se její vliv začal zvětšovat.

## 5 Nejistota měření

Měření jako takové je doprovázeno možnými nepřesnostmi a odchylkami. Nejistotou měření se rozumí k výsledku měření přidružený parametr charakterizující rozptýlení hodnot (rozdíl mezi skutečnou a naměřenou hodnotou), které lze odůvodněně pokládat za hodnotu veličiny, která je objektem měření [23].

Při stanovování teplotních mezí výbušnosti a vlivu inertního plynu na tyto meze jsem prováděl měření třikrát opakovaně, vždy pro každou mez za stejných podmínek. Výsledná hodnota byla pak z těchto hodnot spočtena pomocí aritmetického průměru. Podle [23] směrodatná odchylka charakterizuje rozptyl hodnot výběrových průměrů a je proto zvolena jako míra nejistoty měřené veličiny.

Směrodatnou odchylku je možné vypočítat podle [23] rovnice:

$$s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (42)$$

kde:

$s_x$  ....směrodatná odchylka,  
 $N$  ...počet opakovaných měření,  
 $\bar{x}$  ...hodnota průměru.

Podle [23] Nejistotu měření vypočítáme podle vzorce:

$$u_x = k_s \cdot s_{\bar{x}} \quad (43)$$

Kde je:

$u_x$  ...nejistota měření,  
 $k_s$  ...koeficient,  
 $s_x$  ....směrodatná odchylka.

Koeficient  $k_s$  závisí na počtu měření a jeho velikost je dána tabulkou 13. Pro výpočet nejistoty měření jsem zvolil  $K_s = 2,3$  z důvodu třech opakování mého měření.

**Tabulka 13 Koefficient  $K_s$  k výpočtu nejistoty měření [23]**

počet měření	Hodnota koeficientu $k_s$
2	7
3	2,3
4	1,7
5	1,4
6	1,3
7	1,3
8	1,2
9	1,2

Standardní nejistota [23]  $u_x$  udává interval, ve kterém leží pravá hodnota měřené veličiny s poměrně malou pravděpodobností. Často jsou požadovány hodnoty nejistoty s vyšší přesností, která by dávala interval s větší pravděpodobností (kolem 95%). Proto se určuje rozšířená nejistota  $U_x$  ze vztahu:

$$U_x = k_u \cdot u_{\bar{x}} \quad (44)$$

Kde je:

$U_x$  ...rozšířená nejistota,

$k_u$  ...koeficient rozšíření (doporučuje se volit = 2),

$u_x$  ...nejistota měření.

## 5.1 Výpočty nejistoty měření

Směrodatná odchylka dolní teplotní meze výbušnosti nafty podle vzorce (42):

$$s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{3(3-1)} \cdot [(125 - 125,33)^2 + (124 - 125,33)^2 + (127 - 125,33)^2]} = 0,88$$

Nejistota měření dolní teplotní meze výbušnosti podle vzorce (43):

$$u_x = 2,3 \cdot 0,88 = 2,02$$

Rozšířená nejistota měření dolní teplotní meze výbušnosti podle vzorce (44):

$$U_x = 2 \cdot 2,02 = 4,04$$



Směrodatná odchylka horní teplotní meze výbušnosti nafty podle vzorce (42):

$$s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{3(3-1)} \cdot [(193 - 195,33)^2 + (195 - 195,33)^2 + (198 - 195,33)^2]} = 1,45$$

Nejistota měření horní teplotní meze výbušnosti podle vzorce (43):

$$u_x = 2,3 \cdot 1,45 = 3,34$$

Rozšířená nejistota měření horní teplotní meze výbušnosti podle vzorce (44):

$$U_x = 2 \cdot 3,34 = 6,67$$

Shrnutí výsledků dolní a horní teplotní meze výbušnosti s přihlédnutím na spočítané nejistoty měření jsou uvedeny v tabulce 14.

**Tabulka 14 Teplotní meze výbušnosti s nejistotami**

<b>Hořlavá kapalina</b>	<b>Dolní teplotní mez výbušnosti</b>	<b>Horní teplotní mez výbušnosti</b>
Motorová nafta s příměsí 5% MEŘO	125,33 ± 4,04	195,33 ± 6,67

Postup pro výpočet nejistoty měření u inertizace je totožný s již použitým postupem pro teplotní meze výbušnosti. Dílčí výsledky jsou uvedeny v tabulce 15 a hodnoty inertizace s nejistotou měření dále v tabulce 16.

**Tabulka 15 Vypočtené odchylky měření při inertizaci teplotních mezí výbušnosti**

<b>Motorová nafta s příměsí 5% MEŘO</b>						
<b>Průměrná hodnota</b>	<b>Teplota 1</b>	<b>Teplota 2</b>	<b>Teplota 3</b>	<b>S<sub>x</sub></b>	<b>u<sub>x</sub></b>	<b>U<sub>x</sub></b>
135	135	134	136	0,58	1,33	2,67
140,66	140	139	143	1,20	2,76	5,52
150	150	147	153	1,73	3,98	7,97
159,66	160	158	161	0,88	2,01	4,06
169,66	170	166	173	2,01	4,66	9,33
180	180	179	181	0,58	1,33	2,66
189,33	190	187	191	1,20	2,76	5,53

Tabulka 16 Výsledné hodnoty inertizace s nejistotou měření

Teplota kapaliny [°C]	Koncentrace O <sub>2</sub> [obj. %.]	Koncentrace N <sub>2</sub> [obj. %]
<b>125,33 ± 4,04</b>	<b>Dolní teplotní mez výbušnosti 21% O<sub>2</sub></b>	
135 ± 2,67	15	84
140,66 ± 5,52	13,5	85,5
150 ± 7,97	14	85
159,66 ± 4,06	14,5	84,5
169,66 ± 9,33	15	84
180 ± 2,66	16	83
189,33 ± 5,53	19,5	79,5
<b>195,33 ± 6,67</b>	<b>Horní teplotní mez výbušnosti 21% O<sub>2</sub></b>	

## 6 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo stanovit vliv inertních příměsí na teplotní meze výbušnosti. Pro své měření jsem si zvolil jako posuzovanou hořlavou kapalinu motorovou naftu s příměsí 5% MEŘO. Jedná se o jednu z nejrozšířenějších hořlavých kapalin III. třídy nebezpečnosti. V současné době je MEŘO běžná součást motorové nafty s obsahem od 0 do maximálně 5 % objemových.

Měření teplotních mezí výbušnosti a následného vlivu inertních příměsí na tyto meze probíhalo na zařízení VK-20, směs byla iniciována pomocí, na zakázku vyrobeného, zařízení pro tvorbu elektrické jiskry. Postup měření a detailní popis zařízení se nachází v kapitole 3.

Pro motorovou naftu s příměsí 5 % MEŘO jsem pro stanovení dolní teplotní meze výbušnosti vycházel z teploty vzplanutí  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$  a postupoval od ní směrem k vyšším teplotám. Byla zjištěna dolní teplotní mez výbušnosti o hodnotě  $125,33\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 4,04\text{ }^{\circ}\text{C}$  při 21 obj. % kyslíku. Horní teplotní mez výbušnosti byla stanovena na teplotě  $195,33\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 6,67\text{ }^{\circ}\text{C}$  při 21 obj. % kyslíku. Je vidět, že výsledná teplota dolní teplotní meze značně překročila původních  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Když pomineme možný vliv metodiky a podmínek při měření je tedy patrné, že dolní teplota se může dost lišit od původní teploty vzplanutí. Detailní přehled o zjišťování teplotních mezí výbušnosti je uveden v tabulkách 8 a 10.

Pro zjišťování vlivu inertních příměsí na teplotní meze výbušnosti jsem si zvolil inertní plyn dusík. Z důvodu jeho rozšířenosti v praxi, snadné dostupnosti a faktu, že je vhodný pro většinu případů inertizace. Při mém měření dusík zpočátku ovlivňoval dolní teplotní mez výbušnosti jen nepatrně. Naopak horní teplotní mez výbušnosti, kde je přebytek hořlaviny a nedostatek kyslíku ovlivnil dusík výrazněji. Měření tedy potvrdilo teoretické předpoklady. Graf 10 znázorňuje vliv koncentrace kyslíku na teplotní meze výbušnosti. A v příloze č. 2 najdeme grafy průběhu výbuchů při stanovených teplotách a hodnotách kyslíku respektive dusíku.

## 7 Seznam použité literatury

- [1] DAMEC, J. *Protivýbuchová prevence*. dotisk 1. vydání, Ostrava: Edice SPBI, 2005. 188 s. ISBN: 80-86111-21-0.
- [2] ŠENOVSKÝ, M. a kol. *Základy požárního inženýrství*. 1. vydání, Ostrava: Edice SPBI, 2004. 178 s. ISBN: 80-86634-50-7.
- [3] BARTLOVÁ, I. *Nebezpečné látky I*. 2. rozšířené vydání, Ostrava: Edice SPBI, 2005. 211 s. ISBN: 80-86634-59-3.
- [4] BUSSENIUS, S. *Protipožární a proti-výbuchová ochrana průmyslu*. 1. vydání, Praha: Svaz požární ochrany ČSSR, 1985. 462 s.
- [5] KALOUSEK, J. *Základy fyzikální chemie hoření, výbuchu a hašení*. 2. vydání, Ostrava: Edice SPBI, 1999. 203 s. ISBN: 80-86111-34-2.
- [6] DAMEC, J., VĚŽNÍKOVÁ, H., FONIOK, R., FONIOKOVÁ, J. *Protivýbuchová prevence v potravinářství a zemědělství* 1. vydání, Ostrava: Edice SPBI, 1999. 182 s. ISBN: 80-86111-41-5.
- [7] BARTLOVÁ, I., DAMEC, J. *Prevence technologických zařízení*. 1. vydání, Ostrava: Edice SPBI, 2002. 244 s. ISBN: 80-86634-10-8.
- [8] ČSN EN 1839: Stanovení mezí výbušnosti plynů a par
- [9] BRANDES, Elisabeth; PAWEL, Dieter; MITU, „Maria. Temperature Dependence of the Lower Explosion Limits of pure Components and Mixtures. In Montreal 2005: 20th International Colloquium on the Dynamics of Explosions and Reactive Systems, Montreal, Canada, 31 July - 5 August 2005 [online]. Montreal: McGill university of Montreal [cit. 2010-04-25]. Dostupný z WWW: <[http://www.galcit.caltech.edu/~jeshep/icders/cd-rom/EXTABS/254\\_20TH.PDF](http://www.galcit.caltech.edu/~jeshep/icders/cd-rom/EXTABS/254_20TH.PDF)>.
- [10] ČSN 65 0201: Hořlavé kapaliny
- [11] BARTLOVÁ, I., BALOG, K. *Analýza nebezpečí a prevence průmyslových havárií*. 2. vydání, Ostrava: Edice SPBI, 2007. 191 s. ISBN: 978-80-7385-008-0.

- [12] ORLÍKOVÁ, K., DANIHELKA, P., KOZUBEK, E. *Chemie hořlavin a produktu hoření*. 1. vydání, Ostrava: VŠB TU-O, 1991. 97 s. ISBN: 80-7078-036-3.
- [13] *Encyklopedie fyziky* [online]. c2006 - 2010 [cit. 2010-03-10]. Sytá pára. Dostupné z WWW: <<http://fyzika.jreichl.com/index.php?page=654&sekce=browse>>.
- [14] ORLÍKOVÁ, Kateřina. *Hasební látky*. 1. vydání, Ostrava : Edice SPBI, 1995. 94 s. ISBN 80-902001-0-9.
- [15] *Ministerstvo životního prostředí České republiky : Integrovaný registr znečišťování* [online]. c2005-2008 [cit. 2010-03-16]. Halony. Dostupné z WWW: <<http://www.irz.cz/latky/halony>>.
- [16] ČSN 38 9683: *Návod na inertizaci jako prevenci proti výbuchu*
- [17] ADAMUS, Alois. *Inertizace dusíkem v dolech* [online]. 2001, Poslední aktualizace červenec 2009 [cit. 2010-03-20]. Dostupné z WWW: <<http://homen.vsb.cz/~ada70/nitrogen/cz/index.htm>>.
- [18] *Gasworld : website* [online]. c2003 - 2010 [cit. 2010-04-16]. Colliery inertisation system unveiled in South Africa. Dostupné z WWW: <<http://www.gasworld.com/news.php?a=4515>>.
- [19] *STEAMEXFIRE* [online]. 2005 [cit. 2010-04-16]. Steamexfire 2500, the largest inert gas generator globally available for suppressing mine fires. Dostupné z WWW: <[http://www.steamexfire.com/pagina.40.d..name.news\\_archive\\_steamexfire\\_coal\\_mining\\_fire\\_rescue\\_underground\\_fires\\_tunnel\\_fires\\_ship\\_fires\\_suppressing\\_fire\\_.htm](http://www.steamexfire.com/pagina.40.d..name.news_archive_steamexfire_coal_mining_fire_rescue_underground_fires_tunnel_fires_ship_fires_suppressing_fire_.htm)>.
- [20] *QTEST : měřící a přístrojová technika* [online]. c2008 - 2010 [cit. 2010-04-15]. Teploměry - ceník. Dostupné z WWW: <<http://www.qtest.cz/teplomery/cenik.htm>>.
- [21] *M&B Calibr Ivančice : prodej, oprava a kalibrace měřidel akreditovaná kalibrační laboratoř* [online]. c2006 - 2010 [cit. 2010-04-15]. Teploměr digitální GMH 3250. Dostupné z WWW: <<http://www.mbcaltbr.cz/prodej/produkt/3935-teplomer-digitalni-gmh-3250/>>.

- [22] *AMT měřicí technika* [online]. c2010 [cit. 2010-04-15]. Měřiče proudění, pH a kyslíku. Dostupné z WWW: <<http://www.amt.cz/index.php?id=sor308>>.
- [23] MÁDR, J., FOJTEK, A., KOPEČNÝ, J.: *Fyzikální měření*, VŠB TU Ostrava, 1. vydání, Ostrava, 1999

## Seznam zkratek

LEL, DMV	- Lower explosion limit, dolní mez výbušnosti
UEL, HMV	- Upper explosion limit, horní mez výbušnosti
MEBS	- Mezní experimentální bezpečná spára
MZP	- Minimální zápalný proud
MIE	- Minimální iniciační energie
LOC	- Limitní obsah kyslíku (limiting oxygen cocentration)
MEŘO	- Metylestery řepkového oleje

## Seznam grafů

Graf 1	Výbuchová křivka podle [7].....	8
Graf 2	$P_{\max}$ plynu v závislosti na koncentraci dle [7].....	10
Graf 3	$(dp/dt)_{\max}$ plynu v závislosti na koncentraci dle [7].....	11
Graf 4	Vliv počátečního tlaku a iniciační energie na meze výbušnosti směsi metanu se vzduchem dle [7].....	15
Graf 5	Vztah mezi tlakem par, teplotními hranicemi výbušnosti a koncentračními hranicemi výbušnosti ethanu dle [11] .....	20
Graf 6	Účinek různých inertních plynů dle [1] .....	37
Graf 7	Účinek různých inertních plynů dle [1] .....	37
Graf 8	Průběh výbuchu ve VK-20: Dolní teplotní mez výbušnosti motorové nafty s příměsí 5% MEŘO při teplotě 125 °C .....	53
Graf 9	Průběh výbuchu ve VK-20: Horní teplotní mez výbušnosti motorové nafty s příměsí 5% MEŘO při teplotě 195 °C .....	54
Graf 10	Vliv koncentrace kyslíku na teplotní meze výbušnosti motorové nafty s příměsí 5% MEŘO .....	55
Graf 11	Průběh výbuchu motorové nafty s příměsí 5% MEŘO: 135°C, 15 % kyslíku.....	2
Graf 12	Průběh výbuchu motorové nafty s příměsí 5% MEŘO: 140°C, 13 % kyslíku.....	2
Graf 13	Průběh výbuchu motorové nafty s příměsí 5% MEŘO: 140°C, 13,5 % kyslíku.....	2
Graf 14	Průběh výbuchu motorové nafty s příměsí 5% MEŘO: 150°C, 14 % kyslíku.....	3
Graf 15	Průběh výbuchu motorové nafty s příměsí 5% MEŘO: 150°C, 13,5 % kyslíku.....	3
Graf 16	Průběh výbuchu motorové nafty s příměsí 5% MEŘO: 170°C, 15 % kyslíku.....	3
Graf 17	Průběh výbuchu motorové nafty s příměsí 5% MEŘO: 170°C, 14,5 % kyslíku.....	4



## Seznam obrázků

<b>Obrázek 1</b> Hranice (meze) výbušnosti dle [2] .....	12
<b>Obrázek 2</b> Znázornění teplotní osy, rozsahu výbušnosti a rozsahu nebezpečí dle [1].....	18
<b>Obrázek 3</b> Vypařování do klidného prostředí dle [1] .....	32
<b>Obrázek 4</b> Použití Steamfire 2500 při inertizaci tunelu dle [19] .....	40
<b>Obrázek 5</b> Pohled do výbuchové komory VK-20.....	43
<b>Obrázek 6</b> Teplotní regulátory .....	44
<b>Obrázek 7</b> Ovládací panel ventilátoru.....	44
<b>Obrázek 8</b> Ponorné teplotní čidlo GTF 1200 .....	45
<b>Obrázek 9</b> Digitální přenosný teploměr GMH 3250.....	46
<b>Obrázek 10</b> Kompaktní oxymetr GOX 100 .....	46
<b>Obrázek 11</b> Zdroj iniciace elektrickou jiskrou od firmy idLAB.....	47

## Seznam rovnic

Rovnice 1 Velikost nárůstu výbuchového tlaku [7] .....	9
Rovnice 2 Vztah pro stanovení dolní meze výbušnosti [5].....	13
Rovnice 3 Vztah pro stanovení horní meze výbušnosti [5].....	13
Rovnice 4 Vztah pro výpočet spalné entalpie [5].....	13
Rovnice 5 Vztah pro výpočet mezí výbušnosti jednotlivých směsí [5] .....	13
Rovnice 6 Le Chatelierovo pravidlo [5].....	13
Rovnice 7 Le Chatelierovo pravidlo [5].....	13
Rovnice 8 Vliv teploty na meze výbušnosti u hořlavých kapalin [1] .....	16
Rovnice 9 Vliv teploty na meze výbušnosti u hořlavých kapalin [1] .....	16
Rovnice 10 Výpočet dolní meze výbušnosti při teplotě $t$ pro hořlavé plyny a páry [1].....	16
Rovnice 11 Výpočet horní meze výbušnosti při teplotě $t$ pro hořlavé plyny a páry [1] .....	16
Rovnice 12 Rozsah Nebezpečí výbuchu podle dolní/ horní teplotní meze výbušnosti [1].....	18
Rovnice 13 Vztah pro dolní hranici výbušnosti [11] .....	21
Rovnice 14 Nebezpečné koncentrace u hořlavé kapaliny [1] .....	27
Rovnice 15 Vztah skutečné koncentrace a koncentrace nasycených par [1] .....	27
Rovnice 16 Výpočet koncentrace nasycených par [1] .....	27
Rovnice 17 Přepočet objemové koncentrace par $c_v$ na hmotnostní koncentraci $c_m$ [1].....	27
Rovnice 18 Vztah pro Molární objem $V_t$ při teplotě $t_{prac}$ [1].....	28
Rovnice 19 Rozsah nebezpečí výbuchu plynů a přehřátých [1] .....	28
Rovnice 20 Skutečná koncentrace hořlavého plynu v objemových % [1].....	28
Rovnice 21 Vztah pro fyzikální děj vypařování jednosložkových kapalin [5] .....	29
Rovnice 22 Clausius - Clapeyronovy rovnice [5] .....	29
Rovnice 23 Clausius - Clapeyronovy rovnice [5] .....	29
Rovnice 24 Závislost tenze nasycené páry na teplotě [5] .....	29
Rovnice 25 Antoineova rovnice [5] .....	30
Rovnice 26 Difúzní koeficient pro uhlovodík [4] .....	30
Rovnice 27 Závislost difúzního koeficientu na teplotě [5] .....	30
Rovnice 28 Vzorec popisující stacionární difúzi [5].....	31
Rovnice 29 Vzorec pro hustotu difúzního toku [5].....	31
Rovnice 30 Výpočet závislosti koncentrace na čase [5] .....	31
Rovnice 31 Vztah pro změnu koncentrace nad hladinou [1] .....	32
Rovnice 32 Vztah pro střední koncentraci par nad hladinou [1].....	32
Rovnice 33 Výpočet vzdálenosti, ve které je koncentrace par kapaliny rovna nule [1] .....	33
Rovnice 34 Koncentrace par ve vzdálenosti $y$ v obj. % [1] .....	33
Rovnice 35 Nebezpečná výška nad hladinou nad hladinou [1] .....	33
Rovnice 36 Vzorec pro vypařené množství [1].....	33
Rovnice 37 Výpočet intenzity vypařování do nepohyblivého prostředí [1] .....	34
Rovnice 38 Vztah intenzity vypařování do proudícího vzduchu [1].....	34
Rovnice 39 Kubický zákon [1].....	41
Rovnice 40 Aritmetický průměr .....	52
Rovnice 41 Aritmetický průměr .....	54
Rovnice 42 Výpočet směrodatné odchylky [23] .....	57
Rovnice 43 Výpočet nejistoty měření vypočítáme [23].....	57
Rovnice 44 Výpočet rozšířené nejistoty $U_x$ 44 [23].....	58

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Přehled iniciačních zdrojů s vlivem na horní mez výbušnosti (zkoušené médium: ethin okolní tlak 0,1MPa) dle [4] .....	14
Tabulka 2 Příklad oblasti výbušnosti v souvislosti se slučovacím teplem [11] .....	21
Tabulka 3 třídění hořlavých kapalin dle [10] .....	22
Tabulka 4 Teplotní třídy dle [3] .....	23
Tabulka 5 Třídy jiskrové citlivosti dle [3] .....	24
Tabulka 6 LOC v různých inertizačních atmosférách dle [11] .....	25
Tabulka 7 Maximální obsah kyslíku a nutný obsah inertizačního prostředku dle [4] .....	25
Tabulka 8 Zjišťování dolní teplotní meze výbušnosti motorové nafty s příměsí 5 % MEŘO. 51	
Tabulka 9 Naměřené hodnoty dolní teplotní meze výbušnosti motorové nafty s příměsí 5 % MEŘO .....	52
Tabulka 10 Zjišťování horní teplotní meze výbušnosti motorové nafty s příměsí 5 % MEŘO .....	53
Tabulka 11 Naměřené hodnoty horní teplotní meze výbušnosti motorové nafty s příměsí 5 % MEŘO .....	54
Tabulka 12 Průměrné hodnoty vlivu dusíku na teplotní meze výbušnosti motorové nafty s příměsí 5% MEŘO .....	55
Tabulka 13 Koeficient Ks k výpočtu nejistoty měření [23] .....	58
Tabulka 14 Teplotní meze výbušnosti s nejistotami .....	59
Tabulka 15 Vypočtené odchylky měření při inertizaci teplotních mezí výbušnosti .....	59
Tabulka 16 Výsledné hodnoty inertizace s nejistotou měření.....	60
Tabulka 17 Inertizace teplotních mezí výbušnosti (příloha) .....	1

## **Seznam příloh**

Příloha č. 1    Tabulka průběhu inertizace teplotních mezí výbušnosti

Příloha č. 2    Grafy průběhu výbuchů

Příloha č. 3    Bezpečnostní list motorové nafty

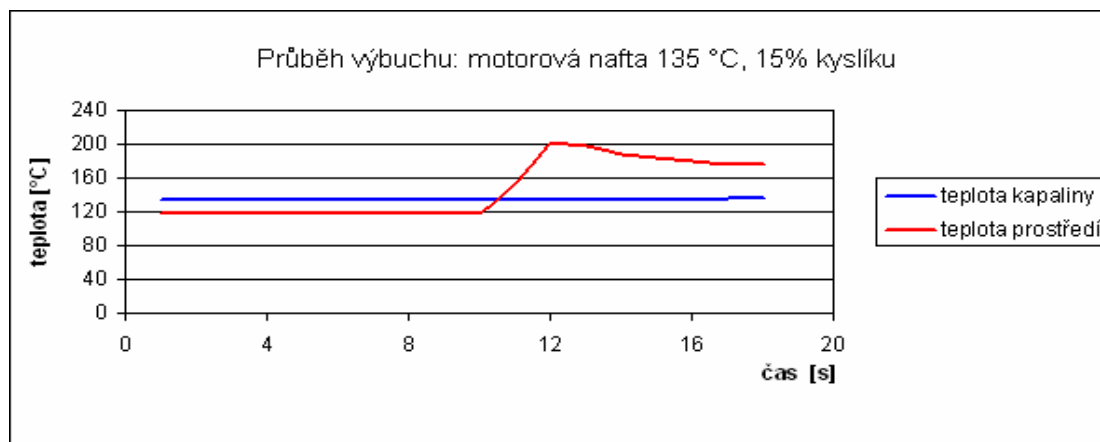
## Příloha č. 1

Tabulka 17 Inertizace teplotních mezí výbušnosti

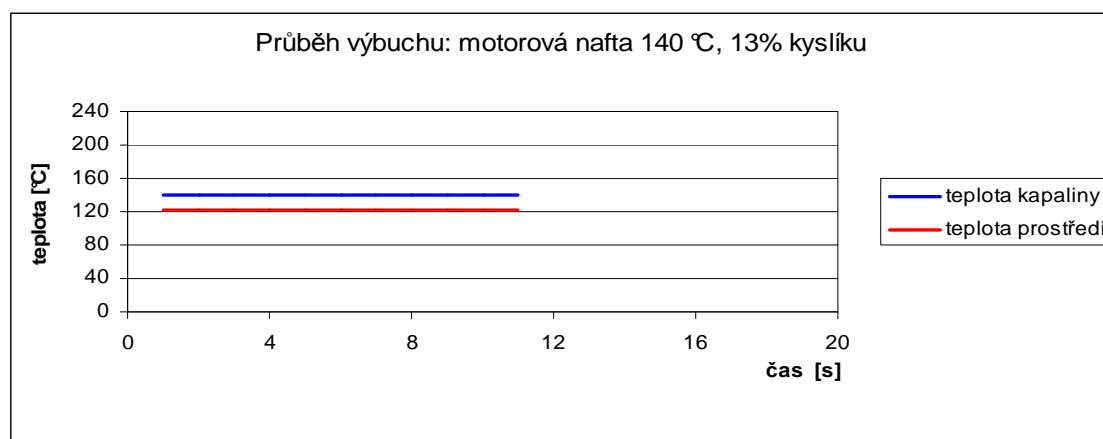
Teplota kapaliny [°C]	Výbuch A/N	Koncentrace O <sub>2</sub> [obj. %]	Koncentrace N <sub>2</sub> [obj. %]	Průměrná hodnota
125,33	Dolní teplotní mez výbušnosti při 21% O <sub>2</sub>			
135	N	13	86	
135	N	14	85	
135	N	14,5	84,5	
135	A	15	84	
134	A	15	84	135
136	A	15	84	
140	A	16	83	
140	A	14	85	
140	N	13	86	
140	A	13,5	85,5	
139	A	13,5	85,5	
143	A	13,5	85,5	
150	N	13	86	
150	N	13,5	85,5	
150	A	14	85	
147	A	14	85	
153	A	14	85	150
160	N	13	86	
160	N	14	85	
160	A	15	84	
160	A	14,5	84,5	159,66
158	A	14,5	84,5	
161	A	14,5	84,5	
170	N	14	85	
170	N	14,5	84,5	
170	A	15	84	
166	A	15	84	
173	A	15	84	
180	N	15	84	169,66
180	N	15,5	83,5	
180	A	16	83	
179	A	16	83	
181	A	16	83	180
190	A	20	79	
190	N	19	80	
190	A	19,5	79,5	
187	A	19,5	79,5	189,33
191	A	19,5	79,5	
195,33	Horní teplotní mez výbušnosti při 21% O <sub>2</sub>			

## Příloha č. 2

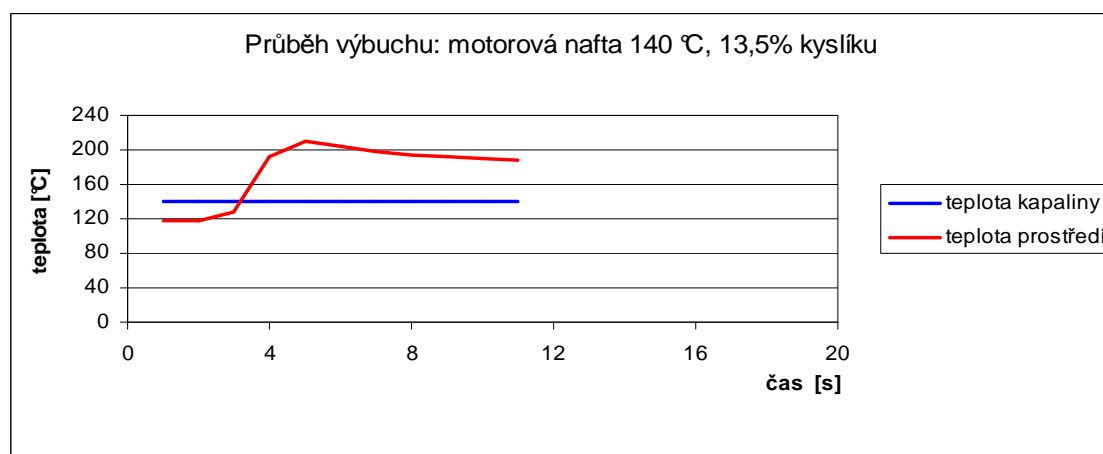
### Grafy průběhu výbuchů:



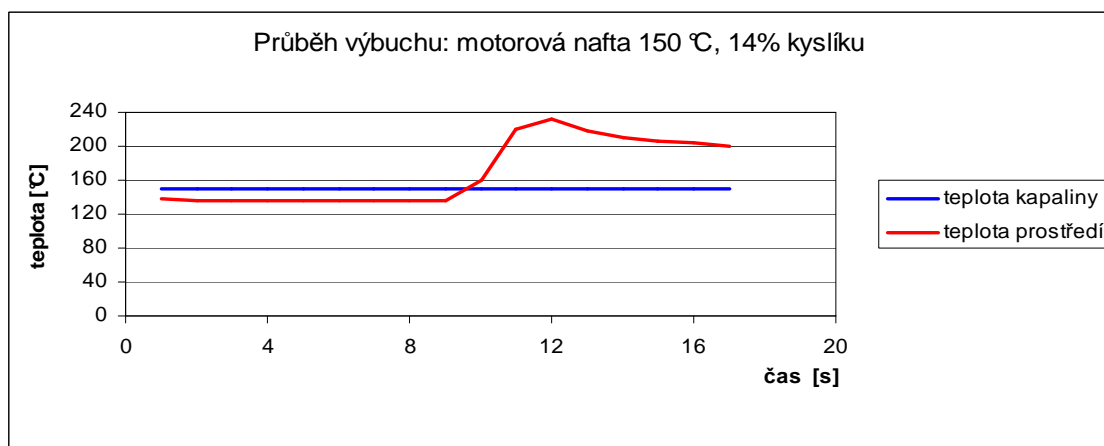
Graf 11 Průběh výbuchu motorové nafty s příměsí 5% MEŘO: 135°C, 15 % kyslíku



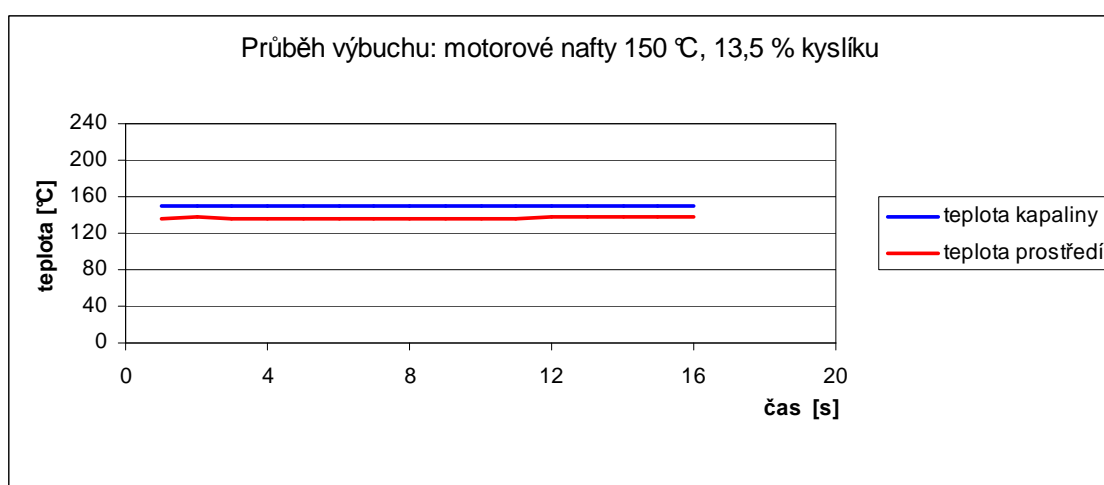
Graf 12 Průběh výbuchu motorové nafty s příměsí 5% MEŘO: 140°C, 13 % kyslíku



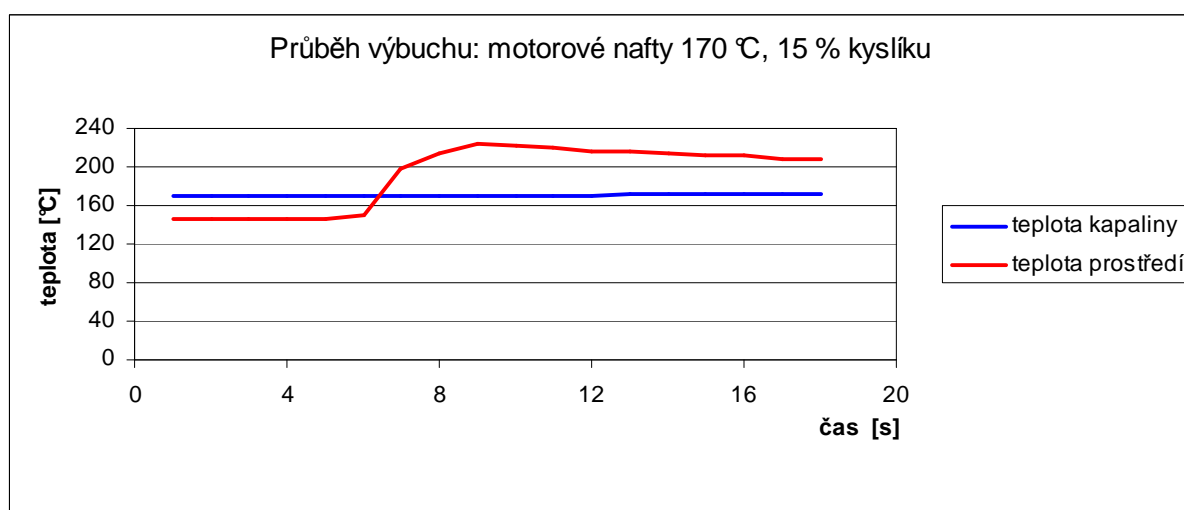
Graf 13 Průběh výbuchu motorové nafty s příměsí 5% MEŘO: 140°C, 13,5 % kyslíku



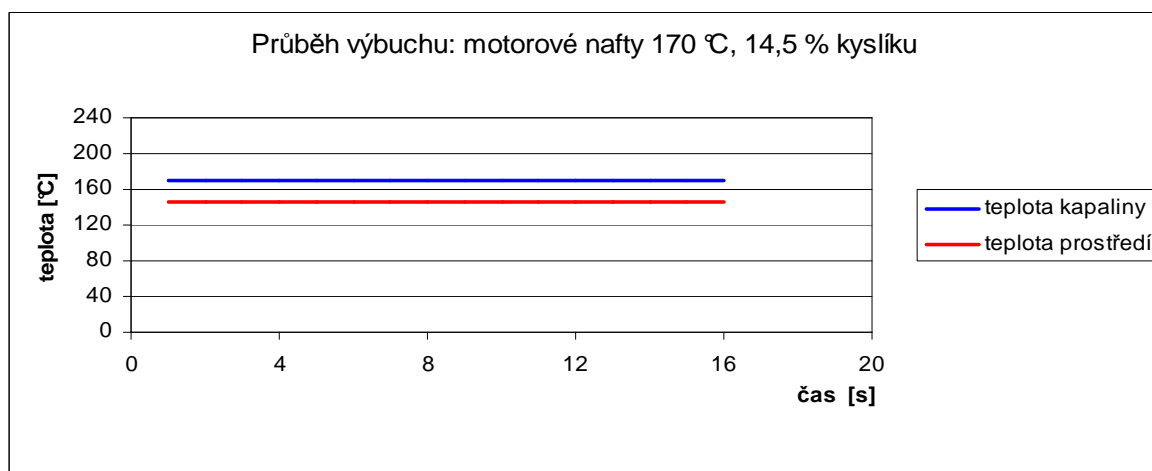
**Graf 14 Průběh výbuchu motorové nafty s příměsí 5% MEŘO: 150°C, 14 % kyslíku**



**Graf 15 Průběh výbuchu motorové nafty s příměsí 5% MEŘO: 150°C, 13,5 % kyslíku**



**Graf 16 Průběh výbuchu motorové nafty s příměsí 5% MEŘO: 170°C, 15 % kyslíku**



**Graf 17 Průběh výbuchu motorové nafty s příměsí 5% MEŘO: 170°C, 14,5 % kyslíku**



## Příloha č. 3

### Bezpečnostní list motorové nafty



#### BEZPEČNOSTNÍ LIST

podle nařízení ES 1907/2006

Název výrobku: Motorová nafta B, D, F

Datum vydání: 1.6.2007

Datum změny:

#### 1. IDENTIFIKACE LÁTKY NEBO PŘÍPRAVKU A SPOLEČNOSTI NEBO PODNIKU

##### 1.1 Identifikace látky nebo přípravku:

*Obchodní název:*

MOTOROVÁ NAFTA B, D, F (plynový olej nespecifikovaný)

*Chemický název:* přípravek

##### 1.2 Použití látky nebo přípravku:

Motorové palivo pro vznětové motory.

##### 1.3 Identifikace společnosti nebo podniku:

Název: PARAMO, a.s.

Sídlo: Přerovská 560, 530 06 Pardubice

Identifikační číslo: 48173355

Telefon: +420 466 810 111

Fax: +420 466 335 019

Osoba odpovědná za BL: [vichova@paramo.cz](mailto:vichova@paramo.cz)

[www.paramo.cz](http://www.paramo.cz)

##### 1.4 Telefonní čísla pro naléhavé situace:

Dispečink PARAMO, a.s.: +420 466 303 175

Toxikologické informační středisko v Praze, tel. +420 224 919 293

TRINS (Transportní informační a nehodový systém) tel. +420 476 709 826

#### 2. IDENTIFIKACE RIZIK

Tento výrobek je klasifikován podle zákona č. 356/2003 Sb. v platném znění jako nebezpečný.

Karcinogenní kat. 3, zdraví škodlivý.

Symbol: Xn,

R-věty: 40-65-66

Hořlavá kapalina. Nebezpečí hoření hrozí v případě zahřátí nad teplotu bodu vzplanutí. Při zvýšené teplotě může dojít k odpaření organických těkavých látek.

Při požití a následném zvracení se může přípravek dostat do plic a vyvolat jejich poškození.

Přípravek je podezřelý v případě často opakovaného kontaktu s kůží z možného karcinogenního účinku.

Opakovaná expozice může také způsobit vysušení a následné popraskání kůže.

Inhalace par nebo mlhy může dráždit dýchací cesty.

Přípravek znečišťuje vodu, a je proto nutné zabránit průniku do spodních a povrchových vod a kontaminaci půdy.

#### 3. SLOŽENÍ NEBO INFORMACE O SLOŽKÁCH

##### 3.1 Složky (chem. látky) přípravku s nebezpečnými vlastnostmi

Název CHL	Obsah CHL ve výrobku v %	Číslo ES	CAS	Symbole	R-věty	Reg. číslo
Plynový olej - nespecifikovaný	≥ 95	269-822-7	68334-30-5	Xn	40-65	
Methylestery mastných kyselin (FAME)	≤ 5	287-828-8	85586-25-0	XI	36-38	

##### 3.2 Informace o PBT

Neobsahuje látky perzistentní, bioakumulativní a toxické nebo vysoce persistentní a vysoce bioakumulativní dle kritérií v příloze XIII. nařízení ES.

Expoziční limity viz bod 8.1.

## 4. POKYNY PRO PRVNÍ POMOC

### 4.1 Všeobecné pokyny:

Při manipulaci dodržovat pracovní hygienu. Oděv a obuv zasažené přípravkem okamžitě vysvléknout a vyzout.

### 4.2 Expozice vdechováním:

Přemístit postiženého na čerstvý vzduch. Pokud postižený dýchá nepravidelně nebo došlo-li k zástavě dechu, zavést umělé dýchání. Při bezvědomí postiženého zajistit ve stabilizované poloze. Okamžitě zavolat lékařskou pomoc.

### 4.3 Styk s kůží:

Při kontaktu pokožky s přípravkem urychleně postižené místo důkladně omýt vodou a mýdlem, ošetřit vhodným krémem.

### 4.4 Zasažení očí:

Vymývat minimálně 15 minut proudem pokud možno vlažné vody. V případě přetrvávajícího podráždění vyhledat lékaře.

### 4.5 Požití:

Vypláchnout ústa vodou, nikdy nevyvolávat zvracení, aby produkt nemohl vniknout do plic. Vyhledat urychleně lékařské ošetření.

## 5. OPATŘENÍ PRO ZDOLÁVÁNÍ POŽÁRU

5.1 Vhodná hasiva: Hasicí prášek, hasicí pěna, CO<sub>2</sub>, apod.

5.2 Nevhodná hasiva: Proud vody.

5.3 Zvláštní nebezpečí: Produkty hoření a nebezpečné plyny: kouř, oxid uhelnatý, oxid uhličitý, oxidy dusíku.

5.4 Zvláštní ochranné prostředky pro hasiče: Zásahové jednotky vystaveny kouři nebo parám musí být vybaveny prostředky pro ochranu dýchání a očí. Při zásahu v uzavřených prostorech je nutno použít izolační dýchací přístroj.

## 6. OPATŘENÍ V PŘÍPADĚ NÁHODNÉHO ÚNIKU

### 6.1 Preventivní opatření pro ochranu osob:

Zabránit znečištění oděvu a obuvi produktem a kontaktu s kůží a očima. Použít vhodný ochranný oděv, znečištěný oděv urychleně vyměnit.

Postarat se o dostatečné odvětrávání prostoru. Zákaz kouření a odstranění všech možných zápalných zdrojů.

Všechny osoby, nepodílející se na záchranných pracích, vykazat do dostatečné vzdálenosti.

### 6.2 Preventivní opatření pro ochranu životního prostředí:

Zabránit rozšíření úniku a vniku do kanalizací, podzemních a povrchových vod a zeminy, nejlépe ohraničením prostoru. Uvědomit příslušné orgány.

### 6.3 Doporučené metody čištění a zneškodnění:

V případě úniku lokalizovat a pokud je to možné, produkt odčerpat nebo produkt mechanicky odstranit, stáhnout z povrchu vod. Zbytky nebo menší množství nechat vsáknout do vhodného sorbentu (Vapex, Chezacarb, piliny, písek) a umístit do vhodných popsaných nádob k předání k zneškodnění v souladu s platnou legislativou pro odpady.

## 7. ZACHÁZENÍ A SKLADOVÁNÍ

### 7.1 Zacházení:

Objekt musí být vybaven podle příslušného standardu ČSN 75 3415. Při manipulaci je třeba dodržovat všechna protipožární opatření. Dále je nutno se chránit proti možnosti nadýchání par nebo aerosolu, podráždění kůže a očí. Při manipulaci s těžkými obaly použít vhodné manipulační prostředky a vyloučit možnost uklouznutí. Při práci nejíst, nepít, nekouřit.

### 7.2 Skladování:

Pro skladování platí opatření podle ČSN 65 0201. Skladovat v dobře uzavřených nádržích, resp. nádobách určených ke skladování motorové nafty, umístěných na dobře větraném místě, z dosahu zápalných zdrojů a možnosti vniknutí vody a mechanických nečistot. Elektrická zařízení musí být provedena podle příslušných předpisů. Chránit před statickou elektřinou.

### 7.3 Specifické použití: Palivo pro vznětové motory.

## 8. OMEZOVÁNÍ EXPOZICE / OSOBNÍ OCHRANNÉ PROSTŘEDKY

### 8.1 Limitní hodnoty expozice:

PEL	nafta: 200 mg/m <sup>3</sup>	FAME	nestanoveno
NPK-P	nafta: 1000 mg/m <sup>3</sup>		nestanoveno

### 8.2 Omezování expozice:

Dodržování obecných bezpečnostních a hygienických opatření, nejíst, nepít, nekouřit. Po omytí pokožky teplou vodou a mýdlem preventivně ošetřit reparačním krémem.

#### 8.2.1 Omezování expozice pracovníků

Úřední věstník L 399, 30.12.1989 – změna nařízením ES 1883/2003.

Ochrana dýchacích orgánů: není nutná, pokud koncentrace par ve vzduchu nepřekročí koncentrační limity. V případě překročení, resp. při tvorbě aerosolu použít únikovou masku s filtrem A,AX (hnědý) nebo jiný vhodný typ proti organickým plynům a parám organických látek

Ochrana rukou: ochranné rukavice odolné ropným látkám, nejlépe z nitrilového nebo neoprenového kaučuku. Nevhodný materiál je kůže nebo silná látka.

Ochrana očí: ochranné brýle, případně obličejový štítek.

Ochrana kůže: pracovní oděv, vhodný materiál: silnější látka

Další údaje: nejsou.

#### 8.2.2 Omezování expozice životního prostředí

Viz bod 2.

## 9. FYZIKÁLNÍ A CHEMICKÉ VLASTNOSTI

### 9.1 Obecné informace:

Skupenství při 20 °C:	kapalina
Barva:	nažloutlá
Zápach (vůně):	charakteristický pro motorovou naftu

### 9.2 Informace důležité z hlediska ochrany zdraví, bezpečnosti a životního prostředí:

Hustota (při 15 °C):	820 až 845 kg/m <sup>3</sup>
Rozmezí bodu varu:	180 až 370 °C
Bod vzplanutí PM:	nad 55 °C
Bod hoření:	nad 80 °C
Koncentrační meze výbušnosti:	
	horní mez: 6,5 % obj.
	dolní mez: 0,6 % obj.

Mezní experimentální bezpečná spára: > 0,9 mm  
Rozpustnost ve vodě: nepatrně rozpustná  
Kinematická viskozita při 40 °C: 2,0 až 4,5 mm<sup>2</sup>/s  
Rozdělovací koeficient n-oktanol/voda: nestanoveno

### 9.3 Další informace:

Relativní hustota par: oca 6 (vzduch 1)  
Teplota vznícení: nad 250 °C  
Bod tekutosti: < 0 °C

## 10. STÁLOST A REAKTIVITA

Při předepsaném způsobu skladování je přípravek stabilní.

### 10.1 Podmínky, kterých je třeba se vyvarovat:

Vytvoření koncentrace v mezích výbušnosti, přítomnost zdrojů vznícení, styk s otevřeným ohněm.

### 10.2 Materiály, kterých je třeba se vyvarovat:

Silná oxidovadla.

### 10.3 Nebezpečné produkty rozkladu:

Za normálních podmínek žádné, při hoření za nedostatku vzduchu možný vznik oxidu uhelnatého.

## 11. TOXIKOLOGICKÉ INFORMACE

Pro plynový olej se uvádí následující hodnoty:

Orální toxicita LD<sub>50</sub> (potkan) > 2000 mg/kg  
Dermální toxicita (potkan) > 5 ml/kg  
LC<sub>50</sub> není známo

Dráždivost na kůži: Produkt není považován za dráždivý na pokožku. Dlouhodobý nebo často opakovaný kontakt může k mírnému podráždění vést. Produkt odmašťuje kůži.

Dráždivost pro oči: Produkt není považován za dráždivý mimo dlouhodobého nebo často opakovaného kontaktu.

Senzibilizace: Na základě dosavadní zkušenosti nepůsobí senzibilizačně.

Karcinogenita: Existuje omezený důkaz karcinogenního účinku při zkoušení na zvířatech.

Mutagenita: Nepředpokládá se.

Toxicita pro reprodukci: Nepředpokládá se.

Subchronická-chronická toxicita: Páry plynového oleje mohou působit narkoticky, způsobují bolesti hlavy, žaludeční nevolnost, dráždění očí a dýchacích cest. Chronické působení par může vyvolat polyneuritidy a svalové atrofie.

Podle dosud získaných údajů s produkty obdobného složení je možno usuzovat na mírný rakovinotvorný potenciál pro zvířecí kůži. Neexistují však žádné důkazy, že toto působení za předpokladu dodržování manipulačních zásad platí i pro člověka.

## 12. EKOLOGICKÉ INFORMACE

### 12.1 Ekotoxicita:

Akutní toxicita pro vodní prostředí: neuvádí se

Toxicita pro půdní organismy: nestanoveno

### 12.2 Mobilita: Neočekává se. Povrchové napětí asi 30 mS/m.

### 12.3 Persistence a rozložitelnost: Biologicky rozložitelné podle CEC asi 62 %. Pro nepatrnou rozpustnost ve vodě se persistence v organismech nepředpokládá.



12.4 Bioakumulační potenciál: Neudává se. Na základě log K o/w možno očekávat velmi nízký i po delší expozici.

12.5 Výsledky posouzení PBT: Viz čl. 3.2.

12.6 Jiné nepříznivé účinky: Vytvoření vrstvy na povrchu vody zabraňuje přístupu kyslíku.

### 13. POKYNY K LIKVIDACI

**Způsoby zneškodňování látky:** Odpad nebo nevyužité zbytky předat osobě s oprávněním k nakládání s odpady podle zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech za účelem využití nebo zneškodnění (podle pokynů výrobce).

Kód odpadu: N 130701, v sorbentu: N 150202

**Způsoby zneškodňování kontaminovaného obalu:** Motorová nafta se dodává v železničních cisternách a autocisternách. Pokud je přečerpávána do sudů, tyto řádně vyprázdněné odevzdat na sběrné místo nebezpečných odpadů. Obaly se zbytky výrobku odkládat na místě určeném obcí nebo předat osobě s oprávněním k nakládání s odpady.

Kód odpadu (obal): N 150110

**Právní předpisy o odpadech:** Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech, v platném znění a související prováděcí vyhlášky a nařízení.

### 14. INFORMACE PRO PŘEPRUVU

Přeprava produktu se provádí v železničních cisternách, autocisternách nebo produktovodem.

Pojmenování a označení podle evropské dohody o přepravě nebezpečného zboží RID/ADR platné od 1.7.2001.

ADR: Nafta motorová (vyhovující normě EN 590)

UN číslo: 1202

Třída: 3

Obalová skupina: III

Bezpečnostní značka: 3

I. č. nebezpečnosti: 30

Typ vozidla dle ADR: AT

### 15. INFORMACE O PŘEDPÍSECH

Klasifikace a značení podle zákona č. 434/2005 Sb.:

Symbol: Xn

Indikace nebezpečí: karcinogenní kat. 3, zdraví škodlivý

Obsahuje: plynový olej nespecifikovaný, methylestery mastných kyselin (FAME)

R-věty: 40-65-66

S-věty: 2-36/37-61-62

### 16. DALŠÍ INFORMACE

#### 16.1 Seznam R-vět a S-vět (čl. 3.1 + čl. 15.1)

16.1.1 Standardní věty označující specifickou rizikovost (R-věty):

R 40 Možné nebezpečí nevratných účinků

R 65 Zdraví škodlivý: při požití může vyvolat poškození plic

R 66 Opakovaná expozice může způsobit vysušování nebo popraskání kůže

16.1.2 Standardní pokyny pro bezpečné nakládání (S-věty):

S 2 Uchovávejte mimo dosah dětí

S 36/37 Používejte vhodný ochranný oděv a ochranné rukavice

S 61 Zabraňte uvolnění do životního prostředí. Viz speciální pokyny nebo bezpečnostní listy

S 62 Při požití nevyvolávejte zvracení: okamžitě vyhledejte lékařskou pomoc a ukažte tento obal nebo označení

Pokyny pro školení: V rámci školení o bezpečnosti práce podle zákoníku práce.

Doporučená omezení použití: Nepoužívat jako čisticí prostředek, pro svícení nebo k zapalování ohně. Nesmí se používat pro vozidla, která jsou v provozu na pracovištích v uzavřených prostorech.

## 16.2 Informace o dalších právních předpisech

### 16.2.1 Zákon 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší, v platném znění

Na výrobek se vztahují příslušná ustanovení zákona č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší, v platném znění, včetně souvisejících předpisů a nařízení.

Podle § 2 odstavce n) uvedeného zákona a vyhlášky č. 355/2002 Sb., ve znění vyhlášky č. 509/2005 Sb., kterou se stanoví emisní limity a další podmínky provozování ostatních stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší emitujících těkavé organické látky z procesů aplikujících organická rozpouštědla a ze skladování a distribuce benzinu, je výrobek kategorizován jako:

c) těkavá organická látka

Technické údaje pro uvedení na štítku podle přílohy č. 5 vyhlášky č. 355/2002 Sb.:

Hustota produktu v g/cm <sup>3</sup>	0,800 až 0,845
Obsah organických rozpouštědel v kg/kg produktu	0
Obsah celkového organického uhlíku v kg/kg produktu	cca 0,87
Obsah netěkavých látek v % (V/V)	max. 2

### 16.2.2 ČSN 65 0201 Hořlavé kapaliny - Prostory pro výrobu, skladování a manipulaci

Podle ČSN 65 0201 je výrobek zařazen do III. třídy hořlavosti.

### 16.2.3 ČSN 33 0371 Nevýbušná elektrická zařízení - Výbušné směsi - Klasifikace a metody zkoušení

Podle ČSN 33 0371 je výrobek zařazen do teplotní třídy T3 a skupiny výbušnosti IIA.

### 16.2.4 Nařízení vlády č. 178/2001 Sb., v platném znění, které stanoví podmínky pro zdraví zaměstnanců při práci, včetně limitů PEL a NPK.

### 16.2.5 ČSN 75 3415 Ochrana vody před ropnými látkami. Objekty pro manipulaci s ropnými látkami a jejich skladování

### 16.2.6 Zákon 356/2003 Sb., ve znění zákona č. 434/2005 Sb., o chemických látkách a chemických přípravcích a o změně některých zákonů.

### 16.2.7 Zákon 111/1994 Sb., Silniční doprava v platném znění, včetně souvisejících předpisů a nařízení (ADR)

### 16.2.8 Zákon 268/94 Sb., Zákon o drahách v platném znění, včetně souvisejících předpisů a nařízení (RID)

### 16.2.9 Zákon č.258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví v platném znění

## 16.3 Informace o změnách

### 16.3.1 Všechny změny v tomto bezpečnostním listě byly vyvolány nařízením ES 1907/2006. Bezpečnostní list bude dále průběžně aktualizován na základě údajů získaných v průběhu zpracování podkladů k registraci u příslušného orgánu, a vlastní registraci.

### 16.4 Údaje obsažené v tomto bezpečnostním listě se týkají pouze uvedených výrobků a odpovídají našim současným znalostem a zkušenostem. Za správné zacházení s výrobkem podle platné legislativy odpovídá uživatel.

Vypracoval: OŘSJ a ŽP, tel. 466 810 362

Pramen URL: <[http://files.odpady.webnode.cz/200000171-628b363852/bl\\_motorova\\_nafta.pdf](http://files.odpady.webnode.cz/200000171-628b363852/bl_motorova_nafta.pdf)>